

Noora Pesonen

KUITULUJITTEISTEN LAMINAATTIEN ELINKAARIARVIO

Opinnäytetyö
Ympäristötekniikan koulutusohjelma


Huhtikuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MAMK University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 28.4.2014
Tekijä(t) Noora Pesonen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniikan ko.
Nimeke Kuitulujiteteisten laminaattien elinkaariarvio		
Tiivistelmä <p>Mikkelin ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan laitoksella on käynnissä Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittama hanke: Alueellisen tutkimusyhteistyön kehitys luonnonkuitupohjaisten materiaalien tutkimuksessa (Biolujite), joka toteutetaan vuosina 2012 - 2014. Hankkeen tavoitteena, on Etelä-Savon alueen tutkimusyhteistyön kehittäminen luonnonkuitupohjaisten materiaalien tutkimuksessa. Yksi keskeisistä tavoitteista on kehittää yhteistyön avulla ympäristöystävällisempää teknologiaa, jolla voidaan kehittää tuote- ja materiaaliratkaisuja energia- tehokkaimmiksi. Biolujite-hankkeen toimeksiannosta työssä tutkittiin elinkaariarvioinnin avulla kuitulujitettujen polymeerilaminaattien ympäristövaikutuksia.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää Exel Composites Oyj:n valmistamien kuitulujitettujen polymeerilaminaattien ympäristövaikutuksia Ces EduPack-ohjelmiston Eco Audit Tool laskentamoduulia käyttäen ISO 14044 -standardin mukaisesti. Ohjelmiston laskentamoduuli arvioi tuotteen elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen sekä sitoutuneen energian, jokaiselle elinkaaren vaiheelle. Vertailun kohteeksi skenaarioihin valikoitui lasi-, pellava- ja juuttikuidut polymeerilaminaattien lujitteina varioiden laminaattien kuitupitoisuuksia. Laskentamoduulin hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian laskenta pohjautui tuotteen elinkaaren vaiheisiin käsittäen materiaalien alkutuotannon, valmistuksen, käytön, kuljetukset, hävittämismuodon (kaatopaikka) ja uusiokäytön.</p> <p>Työssä perehdyin toimeksiannon kautta Ces EduPack-ohjelmiston Eco Audit Tool laskentamoduulin toimintaperiaatteisiin ja käyttökohteisiin. Elinkaariarvioinnin perusteella voidaan todeta, että suuria eroja ei syntynyt lasikuitulujitetun polymeerilaminaatin sekä lasi- ja luonnonkuitulujitettujen polymeerilaminaattien hiilijalanjälkeen tai sitoutuneeseen energiaan. Laminaattien ympäristöystävällisyyttä voidaan parantaa esimerkiksi korvaamalla lasikuitulujite luonnonkuitulujitteella, jolloin ympäristövaikutukset ovat positiivisemmat. Esimerkiksi luonnonkuitulujitettu laminaatti on helpompi kierrättää tai polttaa elinkaaren lopussa.</p>		
Asiasanat (avainsanat) elinkaariarviointi, hiilijalanjälki, luonnonkuidut, tekokuidut, lujitemuovi, pellava, juutti		
Sivumäärä 54 + 28	Kieli Suomi	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014060111262
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi DI Hanne Soininen		Opinnäytetyön toimeksiantaja TkT Kari Dufva/ Biolujite-hanke Mikkelin ammattikorkeakoulu ET-laitos

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 28.4.2014
Author(s) Noora Pesonen		Degree programme and option Environmental Technology
Name of the bachelor's thesis Lifecycle assessment of fibre reinforced laminates		
Abstract <p>Mikkeli University of Applied Sciences department of Energy and Environmental Technology is taking part in the Biolujite project, funded by the European Regional Development Fund. Project aims to develop regional research alliance in natural fiber based materials. This project was started in October 2012 and it's just about to end in July 2014.</p> <p>The purpose of this bachelor's thesis was to investigate environmental impacts of comparison one glass fibre reinforced polymer laminate and four different glass/natural fibre reinforced polymer laminates by estimating the CO₂ emissions and energy use in the laminates life-phases. This study was made by using Ces EduPack software's Eco Audit Tool which provides a quick estimate of environmental impacts across the entire product's life cycle.</p> <p>The methodology and underlying data are aligned with standards such as PAS 2050 and ISO 14040. This ensures that results are consistent with detailed LCA studies that might be completed at the end of design process. In addition this thesis is following the ISO 14044 -standard about requirements and guidelines of life cycle assessment.</p> <p>The results of this life cycle assessment shows that there was no big differences comparing these glass fibre reinforced polymer laminate and glass/natural fibre reinforced polymer laminates by estimating the CO₂ emissions and energy use in the laminates life-phases. One option for improving fibre reinforced laminates friendliness of environment is to change glass fibre to natural fibre in the laminates. Then the natural fibre reinforcement laminate is easier to recycle and burn in the end of life cycle. More investigation of these laminates is needed.</p>		
Subject headings, (keywords) Life cycle assessment, carbon footprint, natural fibers, synthetic fiber, reinforced plastic, flax, jute		
Pages 54 + 28	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014060111262
Remarks, notes on appendices 		
Tutor M.Sc. (Tech) Hanne Soininen		Bachelor's thesis assigned by Tech. D. Kari Dufva/ Biolujite project Mikkeli University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Mikkelin ammattikorkeakoulun energia ja ympäristölaitoksen Biolujite-hankkeelle. Haluan kiittää kiinnostavasta ja ajankohtaisesta aiheesta Biolujite-hankeen Kari Dufvaa sekä Exel Composites Oyj:tä mahdollisuudesta päästä tutkimaan kuitulujitettujen laminaattien ympäristövaikutuksia. Kiitokset myös, apurahoista, joita oli ilo saada Etelä-Savon kauppakamarin Hilja ja Alpo Savolaisen rahastosta sekä Mikkelin kaupungin yleisestä lahjoitusrahastosta.

Mikkeli, huhtikuussa 2014

Noora Pesonen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	KUITUKOMPOSIITIT	2
2.1	Luonnonkuitukomposiitit	2
2.1.1	Valmistus	4
2.1.2	Tärkeimmät ominaisuudet	6
2.2	Lasikuitukomposiitit	7
2.2.1	Valmistus	7
2.2.2	Tärkeimmät ominaisuudet	8
2.3	Maailman kuitutuotannon kehitys	8
2.4	Kuitu- ja lujitemuovijätteen kierrätyksen ja uusiokäytön haasteet.....	10
2.5	Terveyshaitat kuitujen käsittelystä	11
3	ELINKAARIARVIOINTI	12
3.1	Elinkaariajattelu ja vaiheet	12
3.1.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	13
3.1.2	Inventaarioanalyysi	15
3.1.3	Vaikutusarviointi.....	16
3.1.4	Tulosten tulkinta	16
3.2	Elinkaarikustannusarviointi	16
3.3	Sosiaalinen vaikutusarviointi.....	17
3.4	Elinkaariarviointi tukemassa ekologista tuotesuunnittelua	17
3.4.1	Materiaalitehokkuus.....	17
3.4.2	Ekologinen jalanjälki ja hiilijalanjälki	18
3.4.3	Ympäristöriskianalyysit ja ympäristöjärjestelmät.....	18
4	TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO	19
4.1	Exel Composites Oyj	19
4.2	Tuotekehityksen materiaalivalinta ohjelma Ces EduPack 2013.....	20
4.2.1	Eco Audit Tool.....	21
4.2.2	Eco Audit Tool -elinkaariarvioinnin toimintaperiaate ja käyttökohteet.....	22
4.3	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely.....	24
4.3.1	Työn tavoitteet	24
4.3.2	Toiminto ja toiminnallinen yksikkö ja järjestelmän rajat	25
4.4	Skenaarioiden valinta.....	26

5	ELINKAARIARVIOINNIN TULOKSET	27
5.1	Laminaattien hiilijalanjäljet elinkaaren eri vaiheissa	28
5.1.1	Lasikuitulujitettu laminaatti	29
5.1.2	Lasi- ja pellavakuitulujitetut laminaatit	30
5.1.3	Lasi- ja juuttikuitulujitetut laminaatit	33
5.2	Laminaatteihin sitoutunut energia elinkaaren eri vaiheissa.....	35
5.2.1	Lasikuitulujitettu laminaatti	36
5.2.2	Lasi- ja pellavakuitulujitetut laminaatit	37
5.2.3	Lasi- ja juuttikuitulujitetut laminaatit	40
6	ELINKAARIARVIOINNIN TULOSTARKASTELUA	42
6.1	Tutkielmaan liittyviä rajoituksia ja huomioita.....	46
6.2	Laminaattien hiilijalanjälkien vertailua muihin tuotteisiin.....	46
7	POHDINTA	48
8	LÄHTEET.....	50
	LIITTEET	
	1 Skenaarion 0 tulokset	
	2 Skenaarion 1 tulokset	
	3 Skenaarion 1.1 tulokset	
	4 Skenaarion 2 tulokset	
	5 Skenaarion 2.1 tulokset	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa Mikkelin ammattikorkeakoulun energia- ja ympäristötekniikan laitoksen käynnissä olevaa Biolujite-hanketta: Alueellisen tutkimusyhteistyön kehitys luonnonkuitupohjaisten materiaalien tutkimuksessa. Hankkeen päämääränä on kehittää Etelä-Savon alueen materiaali- ja ympäristötekniikan osaamista siten, että olisi valmiuksia toimia kansainvälisellä tasolla hyödyntäen alueen tutkimus- ja yritys-toimintaa. Yksi hankkeen keskeisistä tavoitteista on kehittää yhteistyön avulla ympäristöystävällisempää teknologiaa, jolla voidaan kehittää tuote- ja materiaaliratkaisuja energiatehokkaimmiksi. Biolujite-hanke on käynnistetty 1.10.2012 ja on käynnissä siitä noin kaksi vuotta. Hanketta rahoittaa Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR), sekä Exel Composites Oyj ja Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Hankkeen tekninen tavoite keskittyy uusiutuvien materiaalien hyödyntämiseen komposiittirakenteissa. Energiatehokkaampien materiaalien ja rakenteiden kehittäminen vaatii uusien materiaalien kehittämistä ja nykyisten käytössä olevien materiaalien tehokkaampaa hyödyntämistä. Luonnonkuidut ovat ympäristöystävällisiä ja uusiutuvia materiaaleja, joiden tutkimus- ja kehitystyöhön on panostettu ympäri maailmaa. Luonnonkuidut voivatkin olla tulevaisuuden tuotteiden ensisijaisia raaka-aineita, koska yhä ehtyvät petrokemikaaliresurssit vähentävät öljypohjaisten muovien käyttöä.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään Exel Composites Oyj:lle osana Biolujite-hanketta, kuinka erilaiset kuitulujitteet eri pitoisuuksilla polymeerilaminaateissa eroavat ympäristövaikutuksiltaan käyttäen arvioinnissa tuotekehityksen Ces EduPack-ohjelmiston Eco Audit Tool laskentamoduulia viidelle erilaiselle skenaariolle. Elinkaariarviointi on tehty Suomen standardisoimisliiton vuonna 2006 vahvistaman SFS-EN ISO 14044-standardin mukaisesti Exel Composites Oyj:n lasikuitulujitetulle sekä lasi- ja luonnonkuitulujitetuille polymeerilaminaateille, joista valmistetaan yhdessä vanerin ohella komposiittilevyä rullalaudan runkoa eli dekkiä varten. Tutkimuksen pohja-aineistona käytetään lujitekuitujen ja epoksihartsin massaosuuksia sekä rahtikuljetuksien väli-matkoja. Elinkaari-inventaarion aineisto pohjautuu Ces EduPack-ohjelmiston sisältämään dataan.

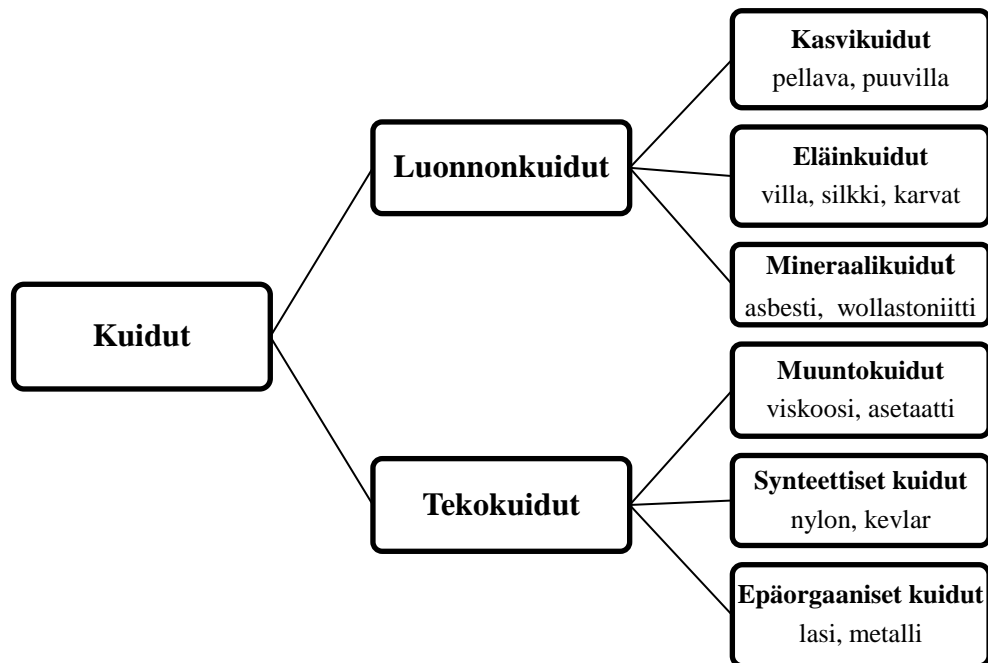
2 KUITUKOMPOSIITIT

Komposiitti on yhdistelmä kahta tai useampaa materiaalia tuoden tuotteelle raaka-ainekomponenttien hyvät ominaisuudet esille tai minimoiden niiden heikkouksia. Valmiissa komposiitissa raaka-ainekomponentit eivät ole liuenneet tai sulautuneet toisiinsa. Kokonaisuutta sitoo toisiinsa, jokin muoviyhdiste (kesto- tai kertamuovi) eli matriisiaine. Komposiiteissa käytetään yleisesti kuituja tuomaan lisää lujuutta kokonaisuudelle esimerkiksi lasikuiduilla tai luonnonkuiduilla. Tätä yhdistelmää kutsutaan kuitukomposiitiksi. (Saastamoinen 2011, 4.)

2.1 Luonnonkuitukomposiitit

Luonnonmateriaalien käyttöä komposiittien valmistuksessa halutaan lisätä erityisesti ympäristöystävällisten näkökulmien takia. Luonnonmateriaaleja voidaan sanoa ”vihreiksi”, jolla viitataan niiden ympäristöystävällisiin ominaisuuksiin. Luonnonkuitujen kasvuvaiheessa kasvi sitoo itseensä hiilidioksidia fotosynteesissä eli yhteyttämisessä. Sitoutuneen hiilidioksidin ansiosta nettokasvihuonepäästöjen sanotaan olevan negatiiviset. Muita luonnonmateriaaleja puoltavia tekijöitä ovat niiden alhainen energiasisältö ja kierrätettävyys. Luonnonkuituja voidaan kierrättää esimerkiksi lasikuituja paremmin. (Lehtiniemi & Järvelä 2012, 1.)

Luonnonkuidut mielletään perinteisesti kasviperäisiksi luonnonkuiduiksi selluloosan antaessa kuiduille niiden lujuuden ja mekaaniset ominaisuudet. Kasvien eri osista muun muassa rungosta ja lehdistä saadaan eroteltua eri laatuja erotteluasteesta, kuidutus-, erottelu-, ja eristysmenetelmästä riippuen. Kuvassa 1 on luokiteltu erilaisia luonnonkuituja sekä tekokuituja eri luokkiin. Kuten kuvasta 1 voidaan huomata, luonnonkuiduiksi luokitellaan myös kasvikuitujen lisäksi eläinkuidut ja mineraalikuidut, mutta kuten aiemmin esitin, pelkästään kasvikuidut mielletään luonnonkuiduiksi. (Lehtiniemi & Järvelä 2012, 1.)



KUVA 1. Kuitujen luokitus luonnonkuiduista tekokuituihin (muokattu lähteestä Saastamoinen 2011, 4).

Pellava

Pellava on yksi vanhimmista hyötykasveista, jota on viljelty jo sivilisaatiomme alusta lähtien (Flax Council of Canada 2014). Monikäyttöinen ja ekologinen pellava voidaan hyödyntää nykytekniikalla lähes 100 % esimerkiksi käyttämällä varret eläinten rehuksi, hyödyntämällä päästäreet rakennusteollisuuden raaka-aineiksi tai polttoaineiksi, puristamalla siemenistä öljyä lääketeollisuuden tarpeisiin ja käyttämällä jätepellavaa paperin valmistuksessa (Pellavapirtti 2011).

Viljeltyä pellavaa (*L. usitatissimum*) on kahta eri tyyppiä, joista toista kasvatetaan pellavansiemenien takia ja toista kuitujen tuotantoon yleisesti olosuhteissa, joissa lämpötila pysyy alle 30 °C:een (Dissanayake 2011, 16). Johtavat pellavakuidun tuottajat ovat Ranska, Belgia, Alankomaat ja Kiina, mutta myös Venäjällä, Valko-Venäjällä ja Ukrainassa viljellään pellavakuitua. Pellavansiemeniä tuottavista maista suurimmat ovat Canada, Argentiina, Chile, Yhdysvallat ja Intia. (Kozlowski 2009, 16.)

Juutti

Pitkä, pehmeä ja kiiltävä juutti on yksi luonnon vahvimista kasvikuiduista, jota tuotetaan pääasiassa Bangladeshissa ja Intiassa. Kultaiseksi kuiduksi kutsuttu juutti on pellavan tapaan monikäyttöinen. Kuidulla on hyvät eriste ja antistaattiset ominaisuudet, kuin myös alhainen lämmönjohtavuus ja kohtalainen kosteudensäilytyskyky. Käyttökohteita juuttikuidulle ja sen sivutuotteille on monia muun muassa tekstiilit (säkit, matot, verhot), maanrakennuskankaat eroosiontorjunnassa, lääkkeet ja kosmetiikka. (FAO.)

Juutti erotetaan valkoisen juuttikasvin (*Corchorus capsularis*) kuoresta tai vähemmän käytetyn Tossa juutin (*C. olitorius*) kuoresta. Menestyäkseen tämä yksivuotinen kasvi tarvitsee trooppiset olosuhteet, jossa ilmankosteus on noin 60–90 %. Juuttikuidun viljelyssä käytetään vain vähän lannoitteita tai tuholaistorjunta-aineita, mutta veden saanti on olennaisen tärkeää kasvulle. Satoa juutti tuottaa noin 120 päivässä arviolta 2 tonnia kuivaa juuttikuitua hehtaaria kohti. (FAO.)

Ympäristöystävällisen tästä kasvikuidusta tekee sen 100 % biohajoavuus ja kierrätettävyys. On arvioitu, että hehtaarin juuttisato kuluttaa noin 15 tonnia hiilidioksidia ja vapauttaa 11 tonnia happea ilmakehään. Juutin kasvatus vuoroviljelyllä parantaa maaperän viljavuutta seuraavalle juuttisadolle. Juutin polttamisesta ei synny myrkyllisiä kaasuja. (FAO.)

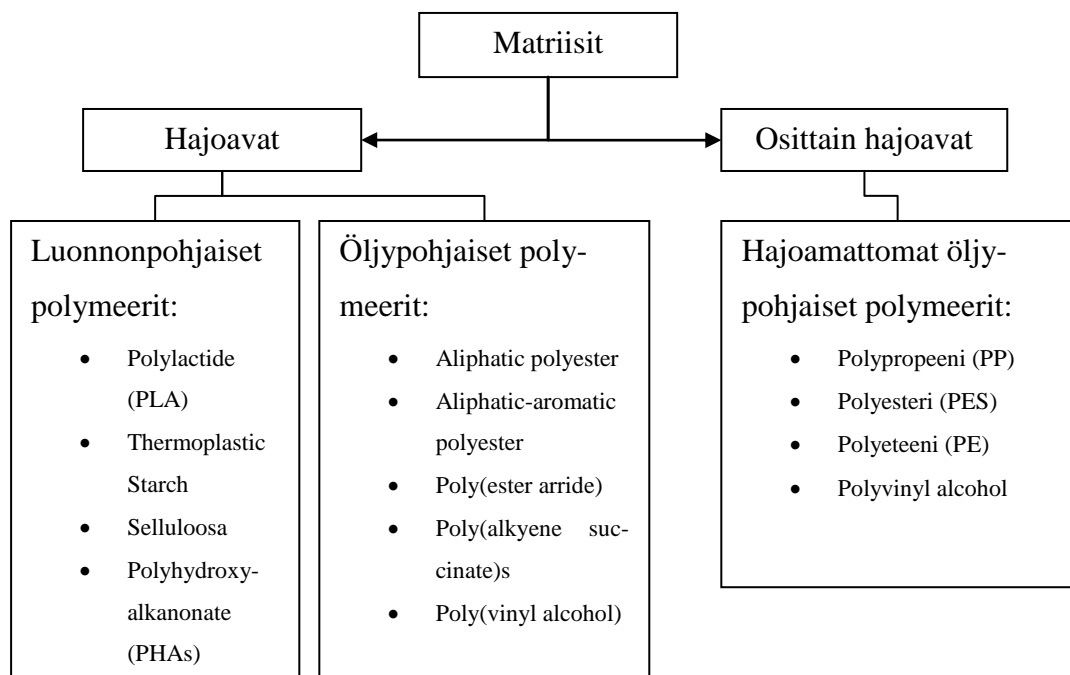
2.1.1 Valmistus

Luonnonkuitukomposiitteja valmistetaan muun muassa ruiskuvalulla, ekstruusiolla, ahtopuristuksella, käsinlaminoinilla, alipainesäkkimenetelmällä, RTM:llä ja pultruusiolla. Näitä samoja menetelmiä käytetään myös synteettisille kuiduille komposiittien valmistuksessa. (Lehtiniemi & Järvelä 2012, 4.) Työstötavat ovat energiantensiivisiä, joten olisi tärkeää saada tuotteen energia talteen polttamalla se elinkaaren lopussa (Parjanen & Andersson 2009, 10).

Komposiitit tarvitsevat polymeerimatriisin, joka toimii kuitujen sideaineena. Matriisiaineena voidaan käyttää, joko synteettisiä tai luonnonpolymeerejä, kuten polypropeenia (PP), polyeteeniä (PE), polyamidia, PVC, biohajoavia muoveja, epoksi-, polyeste-

ri- ja fenolikertamuoveja sekä ligniiniä käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuen (kuva 2). (Parjanen & Andersson 2009, 7.) Täysin biohajoavien polymeerien matriisi on saatu valmistettua luonnosta saatavista raaka-aineista kuten tärkkelyksestä (Kolybaba 2003, 8).

Komposiitin valmistuksessa on olennaisen tärkeää varmistaa kuitujen ja matriisin välinen adheesio eli niiden liittyminen. Adheesio saadaan aikaan muokkaamalla kuituja tai matriisia tai käyttämällä kytkentäaineita. Muokkaus tapahtuu yleisesti kemiallisella modifioinnilla tai uudella kaasufaasissa/-faasilla suoritettavalla käsittelyllä. Kytkentäainetta käytettäessä se joko muodostaa suoraan sidoksia, parantaa kuitujen ja matriisin välistä yhteensopivuutta tai parantaa kuitujen dispersiota eli tasaista sekoittumista matriisissa. Adheesio luomista kuitujen ja matriisin välille pidetään haasteellisena luonnonkuitukomposiittien valmistuksessa. (Parjanen & Andersson 2009, 8.) Kasvikuitujen ja muovien välinen luontainen epäsopevuus johtuu siitä, kun kasvikuikut ovat vesihakuisia ja muovit vettä hylkiviä, joten niiden luontainen sitoutuminen eli adheesio on pieni (Saastamoinen 2011, 9). Onneksi luonnonkuitukomposiitin adheesiota voidaan parantaa.



KUVA 2. Matriisien jaottelua (muokattu lähteestä Sahari 2011, 167).

2.1.2 Tärkeimmät ominaisuudet

Kuitujen lujuuteen ja taipuisuuteen vaikuttavat kuitujen muoto ja koko. Näin eri kuituille on ominaisuuksiensa mukaan erilaiset tekniset käyttökohteet. Erityisesti kuidun pituus ja leveys sekä pituuden ja leveyden suhde ovat tärkeitä muototekijöitä. Kuitulujitetuilla komposiiteilla pyritään tuotteisiin, jotka ovat lujia ja jäykkiä, mutta myös keveitä. (Saastamoinen 2011, 9.) Komposiittien ominaisuuksia voidaan muuttaa halutunlaisiksi erilaisia kuituja, muoveja ja lisäaineita kokeilemalla. Näillä menetelmillä pystytään muokkaamaan esimerkiksi komposiitin akustiikkaa, antibakteerisuutta ja kierrätettävyyttä paremmaksi. (Tarkkanen 2012, 1.)

Luonnonkomposiittien tekniset ominaisuudet sopivat hyvin moniin käyttötarkoituksiin. Kuitumateriaaleja ja muoveja yhdistelemällä saadaan aikaan uusia ominaisuuksia, joita kummassakaan raaka-aineessa ei ole yksinään. Tällöin voidaan parantaa esimerkiksi luonnonkuitujen kosteudenkestävyyttä ja muovien jäykkyyttä. (Saastamoinen 2011, 9 - 10.) Taulukossa 1 on esitetty eräiden luonnonkuitujen, G20-lasin ja epoksin ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. Kuitujen ja epoksin ominaisuuksia (muokattu lähteestä CES EduPack 2013).

Kuitu	Tiheys (g/cm ³)	Taivutuskerroin (GPa)	Vetolujuus (MPa)	Kimmokerroin (GPa)	Hinta puhtaalle kuidulle (EUR/kg)
Pellava	1,4-1,5	27,6-100	345-1500	27,6-100	1,65-3,3
Puuvilla	1,5-1,6	5,5-28	287-597	5,5-28	1,65-3,3
Hamppu	1,48-1,5	66,5-73,5	690-921	66,5-73,5	0,828-1,65
Juutti	1,3-1,5	13-60	240-860	13-60	0,279-1,19
Sisal	1,45-1,5	9,4-22	511-640	9,4-22	0,478-0,557
Kenaf	1,19-1,2	14-53	240-930	14-53	0,207-0,414
Coir	1,14-1,2	4-9	131-175	4-9	0,199-0,398
Lasi- G20	2,36-2,41	70,2-73,8	31,3-33	70,2-73,8	3,3-4,95
Epoksi	1,11-1,4	2,35	45-89,6	2,47	2,63-2,89

2.2 Lasikuitukomposiitit

Suurin osa komposiittiteollisuudessa käytetyistä kuiduista on lasikuitua. Sitä on kaupallisesti valmistettu ja markkinoitu jo yli 60 vuoden ajan. Tämän ajan sisällä lasikuidusta on tullut yksi maailman hyödyllisin ja tarpeellisin lujitekuitu. (GlassFibreEurope, 1.)

Käyttökohteita tällä lujitekuidulla on useita aina urheiluvälineistä, elektroniikkateollisuuteen ja autoteollisuuteen muun muassa (GlassFibreEurope, 1). Pääasiallisesti lasikuitua käytetään lujittamaan polypropeenipohjaisia (PP) komposiitteja, koska materiaalit ovat hyvin tasapainossa ominaisuuksiltaan keskenään sekä hinta on huokea (Etcheverry and Barbosa 2012, 1).

E-lasi ja S-lasi ovat lasikuiduista tyypiltään yleisimmin käytettyjä kuitulujitemuoviteollisuudessa. E-lasilla on huokein hinta kaupallisesti tarjolla olevista lasikuiduista ja siksi sen käyttö on yleistä. S-lasilla on korkein vetolujuus kaikista käytössä olevista lasikuitutyypeistä ja siksi se on alun perin kehitetty ohjusten suojusten ja lentokoneiden käyttöön. (Etcheverry and Barbosa 2012, 1.)

2.2.1 Valmistus

Lasikuitu on epäorgaaninen tekokuitu, joka saadaan aikaan sulattamalla lasia tiettyyn muotoon. Itse lasi on yhdistelmä kvartsia, kalkkikiveä, kaolinia, kalsiumfluoridia, boorihappoa, natriumsulfaattia ja savea. Lasikuitu on tehty luonnon mineraaleista. Lasikuitua voi muokata, kuten mitä tahansa muuta kuitua kierittämällä, vääntämällä ja kutomalla. (Valmiera Glass 2012.)

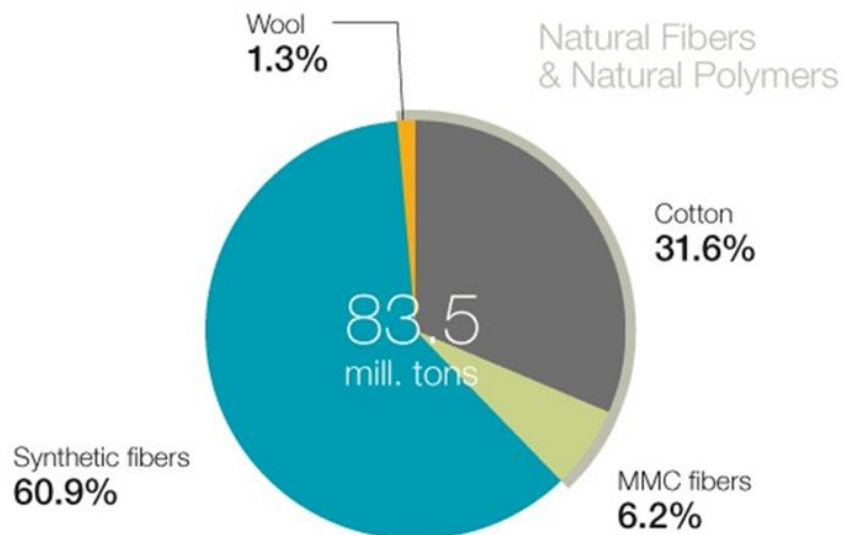
Filamentteja eli kuituja, käytetään jatkuvina, epäjatkuvina tai jalostetussa muodossa. Näistä muodoista jatkuva filamentti lasikuitu eli E-lasi on vallitsevin. Jatkuvia filamentteja ovat esimerkiksi rovingit, kudokset ja neulokset, kun taas lyhyet ja pitkät kuidut ovat epäjatkuvia filamentteja ja matot jalostettuja filamentteja. (Muovimuotoilu.) Valtaosa (99 %) nykyisin valmistetusta lasikuidusta on E-lasia, koska sen sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet sekä kemiallinen kestävyys ovat hyviä huokean hinnan lisäksi (Kevra 2013).

2.2.2 Tärkeimmät ominaisuudet

Lasikuidulla on monia hyviä ominaisuuksia, kuten keveys, lujuus, jäykkyys, matala lämpölaajeneminen, lämpöeristävyys, kestävyys kemikaaleja vastaan, säänkestävyys, pieni veden absorboituminen ja magneettittomuus. Lisäksi lasikuitutyypeistä E-lasi on huokeahintainen. (Exel Composites 2009a.) Lasikuidun epäedullisiksi ominaisuuksiksi luokitellaan korkea kimmokerroin, suhteellisen korkea ominaispaino, herkkyys kulumiseen käsittelyn aikana, pieni rasituksen vastustuskyky ja korkea kovuus (Etcheverry & Barbosa 2012, 1). Riippuen eri lasityypistä, filamentin halkaisijasta, sidoksen liimauskemiasta ja kuidun muodosta voidaan saada aikaan suuri joukko eri ominaisuuksia ja olomuotoja käyttökohteesta ja tarkoituksesta riippuen (Compositesworld 2009). Taulukkoon 1 on koottu erilaisten kuitujen sekä epoksin ominaisuuksia.

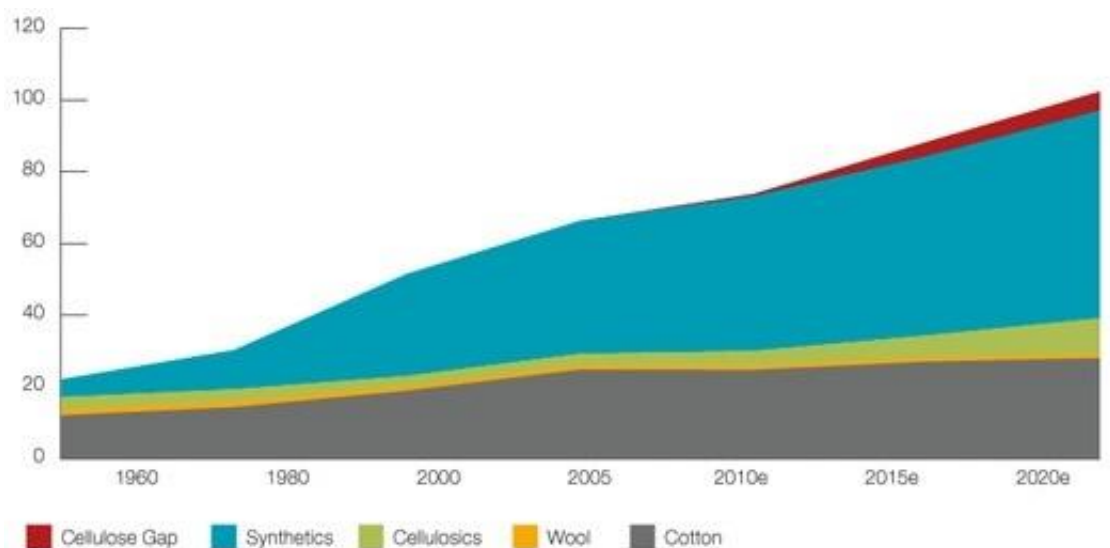
2.3 Maailman kuitutuotannon kehitys

Arviolta 83,5 miljoonaa tonnia kuitua on valmistettu maailmanlaajuisesti vuonna 2012 (kuva 3). Synteettisten kuitujen osuus oli suurin noin 60,9 %, jonka jälkeen puuvilla 31,6 %, keinotekoiset selluloosakuidut 6,2 % ja villa 1,3 %. Maailman kuitumarkkinoita hallitsee selvästi öljypohjaiset synteettiset kuidut (60,9 %). Luonnon kuiduilla sekä luonnon polymeereillä on vain 39,1 % osuus maailman kuitumarkkinoista. Odotettavissa on, että maailman megatrendit kuten väestönkasvu, hyvinvoinnin kasvu ja ilmastonmuutos sekä rajoitettu puuvillan tarjonta seurauksena maailmanlaajuisesta kuitujen kulutuksen kasvamisesta johtaa selluloosakuitujen kysynnän kasvamiseen. Tämä ilmiö on englanniksi ”cellulose gap”, joka kuvastaa selluloosakuitujen ennustettua tarvetta tulevaisuudessa. Kysynnän kasvun noustessa keinotekoisien selluloosakuitujen tulisi hyötyä tästä ”selluloosavajeesta”. Maailman kuitumarkkinoiden odotetaan kasvavan 2,9 % vuoteen 2020 saakka. (Lenzing a.)



KUVA 3. Maailman kuitumarkkinat vuonna 2012 (Lenzing a).

Mitä siis tällä ”selluloosavajeella” oikeastaan tarkoitetaan? Asiantuntijat olettavat, että selluloosakuitujen kysyntä ylittää käsillä olevat varastot 5,3 miljoonalla tonnilla vuonna 2020. Nykypäivänäkin korkealaatuisten, kosteusimukykyisten selluloosakuitujen kysyntä ylittää käsillä olevat varastot eli ”selluloosavaje” on jo olemassa. Asiantuntijat kuitenkin ennustavat vajeen suurenevan kysynnän ja tarjonnan kohdalla tulevaisuudessa. Puuvillan viljely, joutuu tulevaisuudessa yhä enemmän kilpailemaan viljelymaa-alasta rehu-, biopolttoaine- ja ruokatuotannon kanssa. Jatkuva oikullinen sää johtaa puuvillasatojen menetyksiin. Kuvassa 4 on havainnollistettu ”selluloosavajeen” kasvua verraten sitä synteettisten kuitujen, villan ja puuvillan kehityksen kasvuun. (Lenzing b.)



KUVA 4. Kuitujen tuotannon kasvun kuvaus vuoteen 2020 (Lenzing b).

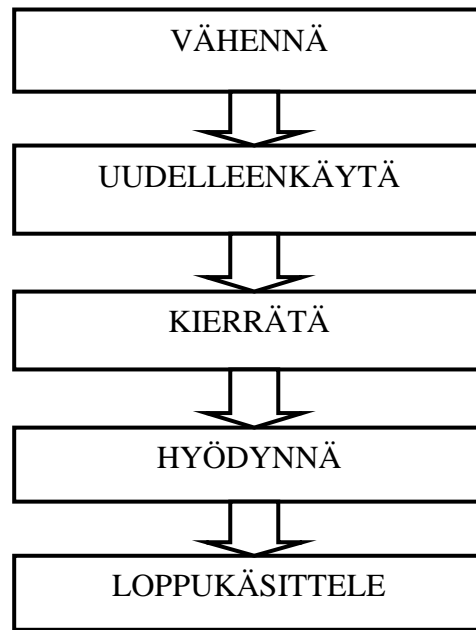
Suomessa ei ole vielä tehty kokonaisselvitystä luonnonkomposiittien valmistukseen tarkoitetuista kuituraaka-aineista. Sahajauhojen ja sellukuitujen käyttöä on tutkittu luonnonkomposiittien valmistuksessa. Hampun jalostusta on Suomessa, mutta vielä kapasiteetiltaan pienekköä. (Parjanen 2009, 33.)

2.4 Kuitu- ja lujitemuovijätteen kierrätyksen ja uusiokäytön haasteet

Suomessa lujitemuovijätettä syntyy noin 4000 tonnia vuodessa. Tästä lujitemuovijätteestä noin puolet on prosessihukkaa ja puolet käytöstä poistettavia lujitemuovituotteita. Jätteen pieni hyötykäyttöaste aiheuttaa turhia ylimääräisiä kustannuksia, kuten kaatopaikkamaksuja ja kuljetuskustannuksia. Lisäksi jäte koostuu arvokkaasta raaka-aineista mikä lisää kustannuksia, kun niitä ei hyödynnetä. Esimerkiksi kertamuovimatriisin poistaminen on vaikeaa lujitteen ympäriltä, mutta jo pelkkä muovijätteen tunnistus visuaalisesti kierrätystä varten on hankalaa. (Siik ym. 2007, 5.)

Kierrätys on määritelty lainopillisesti eri tavoin riippuen tuotteesta ja maasta, siksi kierrättäminen voidaan ymmärtää monella eri tavalla. Kuitenkin yleisesti kierrätys voidaan määritellä tuotteen tai raaka-aineen uudelleen hyödyntämiseksi, joten jätteen polttamista ei tulkita kierrätykseksi. (Nikkola 2011, 2.)

Jätelaissa (646/2011) on säädetty etusijajärjestys (kuva 5), johon kuuluu viisi eri käsittelyvaihtoehtotavoitetta. Etusijajärjestys on määritelty seuraavasti: ”*Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on ensisijaisesti valmistettava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan on hyödynnettävä jäte muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, jäte on loppukäsiteltävä*” (Jätelaki 646/2011). Tällä lailla ja etusijajärjestyksen käsittelyvaihtotavoitteilla taataan kestävämpi jätteen kierrättäminen.



KUVA 5. Jätteenkäsittelyn etusijajärjestys (muokattu lähteestä jätelaki 646/2011).

Jätteenloppusijoitus kaatopaikalle ja polttaminen ovat olleet aina helpoin ja suosituin tapa hävittää komposiitteja. Euroopassa arvioltaan 98 % komposiittijätteestä poltetaan tai loppu sijoitetaan kaatopaikalle, kun taas 2 % hyödynnetään uudelleen, jossain muodossa. Vuonna 2004 monet EU:n jäsenvaltiot lopettivat komposiittijätteen loppusijoituksen kaatopaikoille ja rajoittivat komposiittijätteen polttamista. (Dr Halliwell 2006, 1–2.)

Vuoteen 2020 mennessä jätepuitedirektiivi 75/442/ETY määrää EU:ssa lujitemuovi-jätteen kierrätys asteeksi 50 % (Nikkola 2011, 3). Tulevaisuudessa edistetään yhä enemmän materiaalien kierrättämistä esimerkiksi EU:n jätenormeilla, kuten romuautodirektiivillä ELV (2000/53/EC) ja jätteen kaatopaikkasijoittamista koskevalla EU-direktiivillä (99/31/EC). Myös jäteveron nousu ja kaatopaikkojen sulkeminen painostavat yrityksiä kierrättämään paremmin. Kierrättämällä tehokkaammin yritys välttyy tarpeettomilta kustannuksilta parantaen yrityksen imagoa. (Siik ym. 2007, 5)

2.5 Terveyshaitat kuitujen käsittelystä

Kuitu ja tekstiiliteollisuus sijoittuvat maihin joissa on halpaa työvoimaa tarjolla (esim. Kiina, Intia, Pakistan, Brasilia ja Thaimaa), koska työn eri vaiheissa tarvitaan paljon työntekijöitä. Tekstiiliteollisuus on yleensä näissä maissa suurin taloudellinen tulon-

lähde. Kehittyvissä maissa kuitu- ja tekstiiliteollisuus ovat vielä hyvin kehittymätöntä, mutta luovat pohjaa sosiaaliselle ja taloudelliselle kehitykselle. Tämä kehitys pitäisi olla kestävä ilman ympäristön ja työvoiman riistämistä. (Van Dam Wageningen, 4.)

Kuituja käsittelevissä teollisuusyrityksissä työntekijät ovat todenneet, että esimerkiksi pellavakuitujen käsittely on paljon työntekijä ystävällisempää, mitä lasikuidun, koska pellavakuitu ärsyttää vähemmän ihoa, mitä lasikuidun käsitteleminen. Pitkään on tiedetty, että orgaanisten kasvikuitujen hengittäminen voi altistaa työperäisille keuhkosairauksille. Esimerkiksi pellavakuituja käsittelevän tilan ilmasta voi esiintyä pölyn lisäksi terveydelle haitallisia endotoksiineja, gram- positiivisia ja gram- negatiivisia fungi bakteereja. Yritykset ovat vähentäneet näitä ongelmia käyttämällä suljettua prosessointi järjestelmää ja asianmukaisia ilmanvaihtolaitteita. Kuitenkin vanhemmista prosessointilaitoksista ilmasta voidaan löytää vielä huomattavia määriä haitallista pölyä. Prosessoinnista työntekijöille aiheutuvat mahdolliset terveyshaitat tulee ottaa huomioon, kun uusia kuitujen käsittelylaitoksia rakennetaan. (Bos 2004, 7.)

3 ELINKAARIARVIOINTI

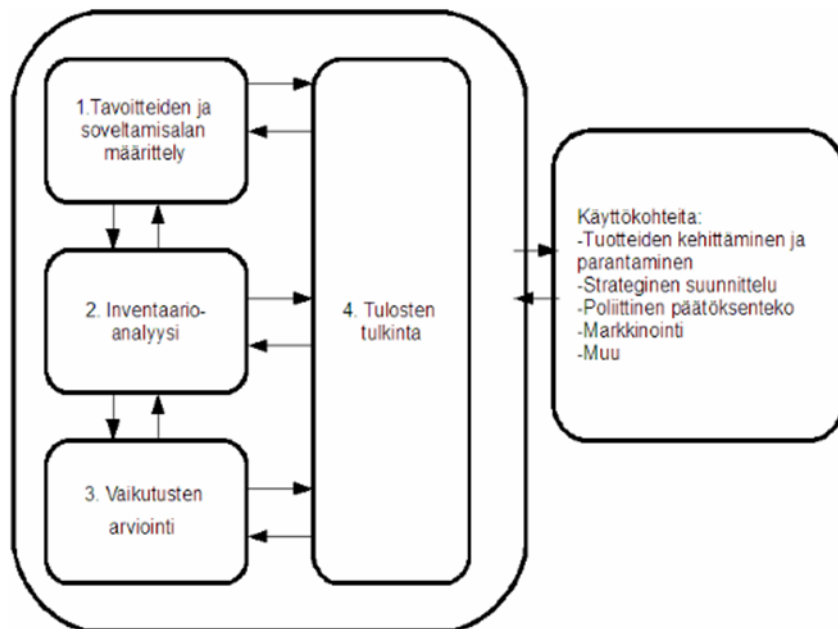
Luvussa kolme kerrotaan SFS-EN ISO 14040, (2006) -standardin elinkaariarvioinnin pääperiaatteista ja soveltamisalasta. Esitetään elinkaarilaskennan eri soveltamiskohteita. Lopuksi tarkastellaan ekologista tuotesuunnittelua, jonka tukena voidaan käyttää elinkaariarviointia.

3.1 Elinkaariajattelu ja vaiheet

Elinkaariarviointi eli Life Cycle Assessment (LCA) on kehitetty kuvaamaan tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia. Määrittämisessä on erityisen tärkeää tietää tuotteen tai palvelun elinkaari, johon kuuluvat kaikki ne vaiheet aina tuotteen materiaaleista hävittämiseen eli jätteenkäsittelyyn saakka: raaka-aineiden hankinta ja tuotanto, valmistus, jakelu, käyttö, uudelleen käyttö, ylläpito, kierrättäminen ja jätteiden loppusijoitus. (SFS-EN ISO 14040 2006, 8.) Tätä elinkaariajattelumallia sanotaan ”kehdesta hautaan” eli ”cradle to grave” ajattelutavaksi. Samantapainen termi ”cradle to cradle” eli ”kehdesta kehtoon” kuvaa, suunniteltua tuotetta, joka voidaan helposti uudelleen käyttää ja kierrättää tuotteen hyvin käytetyn elinkaaren lopussa. (Lehtinen 2011, 4.)

Elinkaariarvioinnin laajuudesta, johtuen tuotteen ja palvelun elinkaariajattelumallia tarkastellaan tapauskohtaisesti (SFS-EN ISO 14040 2006, 8).

Elinkaariselvitys on jaoteltu neljään eri vaiheeseen (kuva 6) SFS-EN ISO 14040 -standardin mukaisesti. Vaiheita voidaan toteuttaa selvityksen tavoitteista johtuen eri laajuudella. Yksityiskohtaisempia vaatimuksia ja suosituksia on tuotu esille SFS-EN ISO 14040 -standardissa. Kaikkien elinkaariarvioinnin vaiheiden lisäksi voidaan toteuttaa myös raportointia ja kriittistä arviointia, joissa voidaan käyttää ulkopuolista tai organisaation sisäistä asiantuntijaa. (SFS-EN ISO 14040 2006, 8.)



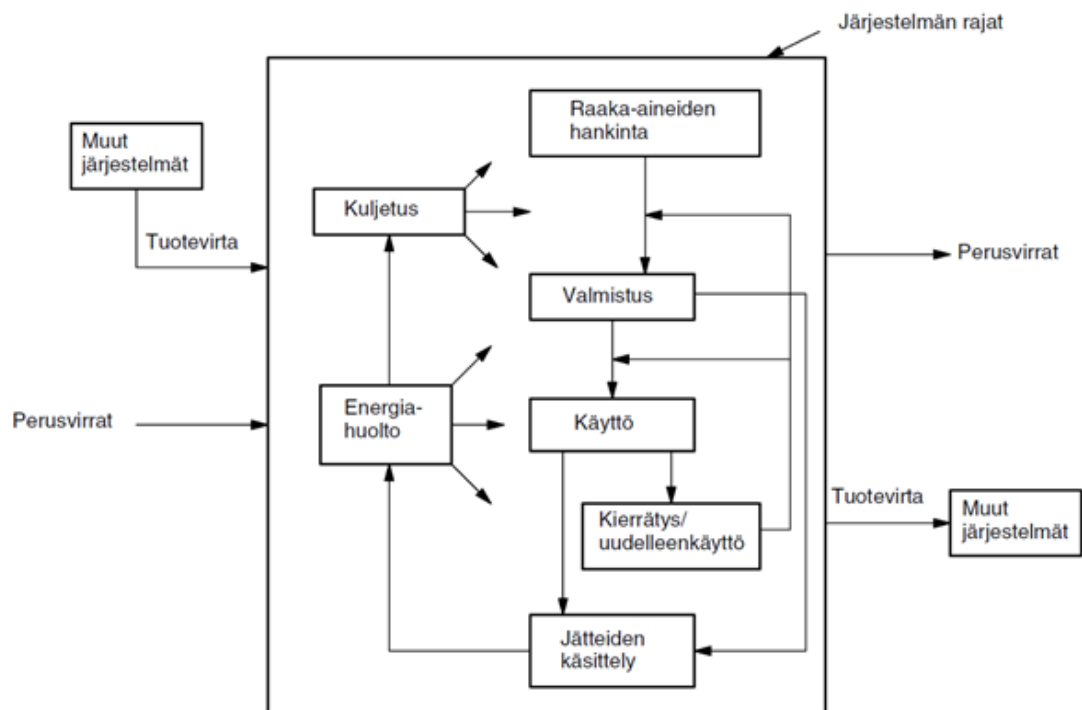
KUVA 6. Elinkaariarvioinnin vaiheet (SFS-EN ISO 14040 2006, 24).

Tämä kehys antaa paljon valinnanvaraa valinnoille, mikä voi vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin ja päätöksiin. Tämä takia avuksi on tehty valinnaisia opaskirjoja, kuten International Reference Life Cycle Data System (ILCD), joka on tehty antamaan lisäohjeita elinkaariarvion tekemiseen. Opaskirja perustuu ISO 14040/44 standardeihin tarkoituksenaan tukea LCA:n johdonmukaisuutta ja laatua. (Lehtinen 2011.)

3.1.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Ensimmäinen vaihe (kuva 6) kuvaa tavoitetta ja laajuutta. Määritetään miksi kyseinen tutkimus tehdään sekä kuvataan tarkoitettu käyttötarkoitus. Tässä vaiheessa määrite-

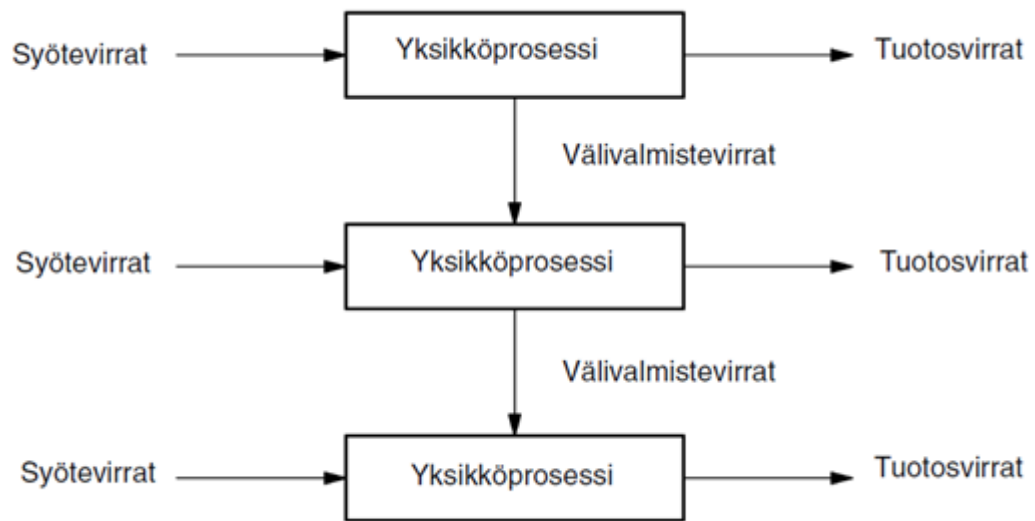
tään ”functional unit” toimiva yksikkö eli yksikkö jota kohden kaikki kerätyt tiedot ja vaikutusarviot lasketaan sekä määritetään mallinnustapa. (UNEP 2009.) Toimiva yksikkö voi olla esimerkiksi yhden tonnin verran valmistettua pellavakuitua, jolle määritetään valmistuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Tämän jälkeen määritetään tutkimukselle sopivat rajat. Esimerkiksi jos tutkimuksen kohteena ovat luonnonkuitulujitemuovin ympäristövaikutukset, on olennaisen tärkeää miettiä, onko tutkimuskohteen kannalta olennaista ottaa tutkimuksessa huomioon hyönteismyrkkyjen ja lannoitteiden valmistuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Tutkimukseen valittu rajausta pitää määrittellä tarkasti ja systeemin kuvausta voidaan selkeyttää (kuva 7) tuotejärjestelmän avulla. (Lahtinen 2010.)



KUVA 7. Elinkaariarvioinnin tuotejärjestelmä ja järjestelmän ympäristö (SFS-EN ISO 14040 2006, 28).

Tuotejärjestelmässä kuvataan tuotetta yksikköprosessien avulla, jotka on yhdistetty toisiinsa välivalmistevirroilla, jätteenkäsittelyyn johtavilla virroilla tai molemmilla (kuva 8). Näiden lisäksi yksikköprosesseja kuvataan toisiin tuotejärjestelmiin tuotevirroilla ja ympäristöön perusvirroilla. Perusvirralla tarkoitetaan tutkittavaan järjestelmään ympäristöstä tulevaa jalostamatonta materiaalia tai energiaa, tai tutkittavasta järjestelmästä ympäristöön lähtevää materiaalia tai energiaa, jota ihminen ei enää käsittele. Kuvassa 8 tuotejärjestelmä on jaettu yksikköprosesseihin, mikä helpottaa siihen sisältyvien syötteiden ja tuotosten tunnistamista. Syöte on yksikköprosessiin tule-

va tuote-, materiaali-, tai energiavirta, kun taas tuotoksella kuvataan yksikköprosessista lähteviä tuote-, materiaali-, tai energiavirtoja. (SFS-EN ISO 14040 2006, 8.)



KUVA 8. Elinkaariarvioinnin tuotejärjestelmän yksikköprosessisarja (SFS-EN ISO 14040 2006, 28).

3.1.2 Inventaarioanalyysi

Toisessa vaiheessa tehdään (LCI) elinkaariarvion inventaarioanalyysi, jossa kuvataan tuotteen valmistusmenetelmät ja niistä koostuvien yksiköiden prosessit (UNEP 2009). Tämän vaiheen aikana kerätään tutkimusaineistoa ja varmistetaan samalla mahdollisuuksien mukaan sen oikeellisuus ja soveltuvuus. Tiedonhankinnassa voidaan käyttää julkaistujen lähteiden, valmiiden tietokantojen sekä tiettyjen yksikköprosessien mukaan valittujen toimipaikkojen tietoja. (Lahtinen 2010.) Perustiedoiksi voidaan luokitella virtaamat tuotteen valmistuksen ja ympäristön välillä. Virtaama käsittää tulevat syötteet luonnosta (esim. jalostamaton materiaali ja maankäyttö) sekä lähtevät tuotokset luontoon (esim. päästöt ilmaan, veteen ja maaperään). Näiden virtaamien määrä tuotteen valmistuksessa ja ympäristössä on mainittu yhtä toimivaa yksikköä kohden, kuten ensimmäisessä tasossa on määritetty. (UNEP 2009.) Lopuksi järjestelmän rajat tarkastellaan uudelleen, jotta niitä voidaan tarvittaessa muokata sopivammiksi (Lahtinen 2010).

3.1.3 Vaikutusarviointi

Kolmannessa vaiheessa tehdään vaikutusten arviointi (LCIA), missä ympäristön vaikutuksen suuruus ja merkittävyys on arvioitu toisen tason virtaamista kerätyn tiedon perusteella. Siten, että saadut tiedot sijoitetaan vaikutusluokkiin, jonka jälkeen lasketaan vaikutusluokan indikaattoritulokset. (Lahtinen 2010.) LCI tuloksista muut kuin virtaamat esim. maankäyttö pitää tunnistaa ja niiden yhteys vastaavaan indikaattoriin luokkaan täytyy määrittää. LCIA:lla on joukko pakollisia elementtejä, joiden avulla voidaan tarkastella tuloksia. Näiden lisäksi tarjolla on myös vaihtoehtoisia elementtejä, kuten normalisointi, ryhmittely ja painotus. (UNEP 2009.) Normalisointi on indikaattorituloksien suhteuttamista valittuun vertailutietoon, joka mahdollistaa eri vaikutusluokkien suoran vertailun toisiinsa. Ryhmittelyn avulla eri vaikutusluokat voidaan laittaa tärkeysjärjestykseen. Painotuksella indikaattoritulokset painotetaan tehtyjen arvovalintojen pohjalta. (Lahtinen 2010.)

3.1.4 Tulosten tulkinta

Neljännessä vaiheessa keskitytään tuloksien tulkintaan. Toisen ja kolmannen vaiheen tuloksien pohjalta annetaan johtopäätökset ja lopulliset suositukset jatkoa varten. (UNEP 2009.) Useasti tulosten tulkintaan liitetään herkkyysanalyysin ja epävarmuusanalyysin määrittäminen. Julkisesti esitettävissä vertailuväitteissä näiden osioiden määrittäminen on pakollista. Herkkyysanalyysin avulla arvioidaan valittujen menetelmien ja lähtötietojen vaikutuksia tuloksiin. Epävarmuusanalyysillä kuvataan määrällisesti inventaarioanalyysin tuloksiin liittyviä epävarmuuksia, joita voivat olla esimerkiksi tutkimuksessa käytetyn mallin virheellisyys ja syötettyjen tietojen epätarkkuus. (Lahtinen 2010.)

3.2 Elinkaarikustannusarviointi

Elinkaarikustannus (Cycle costing, LCC) on arvio tuotteen koko elinkaaren aikana syntyvistä kuluista, joita syntyy tuotteen valmistuksesta aina hävittämiseen saakka. LCC:n määrittäminen on siinä mielessä kannattavaa, koska monen tuotteen ostohinta vastaa vain pienen osan siitä mitä tuotteen valmistamiseen oikeasti tarvitaan. LCC:tä käytetään monenlaisissa eri teollisuuden sektoreilla esimerkiksi rakennuksien-, junien-

, junakuljetuksien tai vaikkapa parin metrin mittaisen maton kulujen arvioimiseen. (UNEP 2009.)

Avuksi on kehitetty joukko oppaita, mutta ISO standardia ei vielä ole kehitetty. Välttämättömänä LCC:n määrittämisessä on kulujen luokittelu, rajojen asettaminen sekä mahdollisten alennuksien huomioon ottaminen. Erityisen tärkeää on että LCC:tä määrittäessä menetelmän ympäristörajaus on yhtenäinen LCA:n kanssa. Usein rajat eivät ole samanlaisia, koska LCC arvioon voidaan ottaa huomioon tutkimisesta, suunnittelusta ja johtamisesta aiheutuvat kulut, jotka ympäristövaikutuksiltaan ovat melko vähäiset. (UNEP 2009.)

3.3 Sosiaalinen vaikutusarviointi

Sosiaalinen vaikutus (Social impact assessment, SIA) on systemaattinen arviointi vaikutuksista päivittäisen elämän laatuun henkilöille ja yhteisöille, joiden ympäristöön vaikuttaa ehdotettu menettelytapa, ohjelma tai jokin projekti. Hyvä sosiaalinen vaikutusarviointi sisältää kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen indikaattorin sosiaalisista vaikutuksista, jotka päätöksentekijät tai paikalliset ihmiset voivat ymmärtää. Sosiaalisen vaikutusarvioinnin tekemiseen World Bank, International Association for Impact Assessment ja USDA ovat kehittäneet ohjekirjoja. (UNEP 2009.)

3.4 Elinkaariarviointi tukemassa ekologista tuotesuunnittelua

3.4.1 Materiaalitehokkuus

Yksinkertaisesti sanottuna materiaalitehokkuudella tarkoitetaan sitä, että vähemmästä valmistetaan enemmän säästämällä ympäristöä. Materiaaleja, raaka-aineita ja energiaa pyritään käyttämään mahdollisimman vähän samalla vähentämällä tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana syntyviä ympäristövaikutuksia. Yleisesti voidaan sanoa mitä pienempi materiaalipanous on, sitä tehokkaammin luonnonvaroja on käytetty, mikä parantaa yrityksen kilpailukykyä ja kustannukset pienenevät. (SYKE 2013a.)

Yritys, joka haluaa parantaa materiaalitehokkuuttaan voi yksinkertaisesti:

- Valita energia- ja materiaalitehokkaita raaka-aineita, energia- ja kuljetusmuotoja.
- Tehostaa tuotantoprosessien raaka-aineen ja energian käyttöä.
- Minimoida ja tehostaa kuljetuksia ja pakkaamista.
- Kehittää paremmaksi tuotteen käyttöikä, monikäyttöisyyttä ja huollettavuutta.

3.4.2 Ekologinen jalanjälki ja hiilijalanjälki

Ekologinen jalanjälki kuvaa tietyn yhteisön kuluttamien resurssien ja tuotettujen jätteen tuottamiseen tarvittavaa maa- ja vesipinta-alaa. Yleisesti ekologista jalanjälkeä käytetään maiden tai alueiden jalanjäljen laskemiseen, mutta sitä myös käytetään yrityksille ja tuotteille. Toiminnasta aiheutuvan ekologisen jalanjäljen vertaamista käytettävissä olevaan tuottavaan maanpinta-alaan (biokapasiteetti) saadaan selville onko toiminta loppujenlopuksi kestävä. Ekologinen jalanjälki ilmoitetaan globaalihehtareina eli keskimääräisenä tuottavana maanpinta-alana, joka tarvitaan biomassapohjaisten resurssien ja jätteen hiilidioksidin kattamiseen. (SYKE 2013b.)

Hiilijalanjälki perustuu elinkaariarviointiin sekä ekologiseen jalanjälkeen. Tämän takia sillä on useita erilaisia määritelmiä ja rajoituksia. Hiilijalanjäljessä voidaan valita, mitkä kasvihuonekaasut otetaan huomioon, miten tutkimus rajataan (tuote, prosessi, yritys, valtio) ja miten eri elinkaarivaiheet otetaan laskelmaan mukaan. Hiilijalanjälki ilmoitetaan usein hiilidioksidiekvivalenteina, josta saadaan selville laskelmissa käytettyjen kasvihuonekaasujen vaikutukset ilmastonmuutokseen. Laskureita hiilijalanjäljen mittaamiseen on monia, jotka antavat erilaisia tuloksia. Tästä johtuen Iso-Britannian standardiviranomainen (BSI) ja Defran rahoittama Carbo Trust julkaisivat hiilijalanjäljen laskentaa ohjaavan ohjeistuksen (PAS 2050:2011) vuonna 2011 tarkoituksena pienentää laskureiden tuloksien vaihteluita. (SYKE 2013b.)

3.4.3 Ympäristöriskianalyysit ja ympäristöjärjestelmät

Ympäristöriskianalyysi on tehty tunnistamaan esimerkiksi tuotantolaitokseen tai kuljetuksiin kohdistuvia olosuhteita tai tilanteita, joista voi syntyä poikkeuksellisia päästöjä ympäristöön. Riskinhallintaan kuuluvan päätöksenteon helpottamiseksi päästöjen vaikutukset ja todennäköisyydet voidaan arvioida. Päästötilanteiden tunnistamisessa voi-

daan soveltaa samoja menetelmiä, kuin prosessiturvallisuudessa on käytetty kuten vikapuuanalyysiä, potentiaalisten ongelmien analyysiä (POA) ja HAZOP:a. (SYKE 2013b.)

Ympäristöjärjestelmän avulla ympäristöasiat otetaan järjestelmällisesti tarkasteluun kaikessa toiminnassa. Toimintatapaa voidaan sanoa ympäristöjohtamisen apuvälineeksi, joka edistää palveluiden ja tuotteiden koko elinkaaren aikaisia ympäristöhaittojen vähentämistä ja kustannuksissa säästämistä. Yksinkertaisesti, kun yrityksen päästöt sekä tuotteiden tai palvelujen elinkaaren aikaiset vaikutukset tiedetään, on sitten mahdollista tehostaa tuotesuunnittelua sekä hankkia vähemmän ympäristöä raskaita raaka-aineita ja tuotantotapoja. Näin yritykselle syntyy oikeista ratkaisuista kilpailuetuja ja imago kohenee. Huomattavimmat ympäristöjärjestelmät ovat ISO 14001- ja EMAS -järjestelmät. (SYKE 2013b.)

4 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

4.1 Exel Composites Oyj

Exel Composites suunnittelee, valmistaa ja markkinoi kuitulujitteisia laminaatteja ja putkia teollisuuden sovelluksiin, sekä myös urheiluvälineiden valmistukseen. Laminaatteja yhtiö on valmistanut jo vuodesta 1985 ja noussut komposiittiprofiilien valmistajana maailman johtoon. Yrityksellä on tehtaita ympäri maailmaa seitsemässä maassa Iso-Britanniassa, Belgiassa, Saksassa, Itävallassa, Kiinassa, Australiassa ja Suomessa. Suomen tehtaat sijaitsevat Heinävaarassa ja Mäntyharjulla. (Exel Composites Oyj 2009b). Kuva 9 on Mäntyharjun tehtaan tuotantolinjasta, jossa lasikuitua prosessoidaan käyttäen pultruusiota. Mäntyharjun tehdas on ollut toiminnassa jo vuodesta 1973, jolloin alkoi sauvojen valmistus. (Länsi-Savo 2013.)



KUVA 9. Mäntyharjun tehtaan tuotantolinja prosessoi lasikuitua (Avikainen 2013).

Laatu, ympäristö ja turvallisuus ovat keskeisessä osassa Exel Composites -yhtiön johdon toimintaperiaatteita. Itävallan, Belgian, Iso-Britannian, Kiinan ja Suomen yksiköille on myönnetty ISO 14001 ympäristösertifikaatit. Yhtiön pitkänajan tavoitteena on saada kaikille yksiköille ympäristösertifikaatit. Tällä hetkellä ympäristösertifikaatit puuttuvat Saksan ja Australian tehtailta. (Exel Composites Oyj 2009b.)

Merkittävät ympäristönäkökohdat ja riskit on arvioitu kaikissa yksiköissä, josta huolehtii yhtiön ympäristöohjelma. Ympäristömonitorointia ja mittauksia tehdään suurimmassa osassa yksiköjä. Säännölliset auditoinnit ja seurannat ovat tärkeä osa ympäristöasioiden jatkuvassa kehittämisessä. (Exel Composites Oyj 2009b.)

Työntekijöiden turvallisuus on olennainen osa vastuullista johtamista. Exel Composites on sitoutunut kehittämään jatkuvasti työturvallisuutta. Yrityksen panostus turvallisuuteen perustuu ehkäisevään mittaukseen, kuten riskien arviointiin, turvallisuus koulutuksiin kuten myös sisäisiin ja ulkoisiin arviointeihin. Kaikissa yhtiön yksiköissä on turvallisuusorganisaatiot, joilla on määrätty vastualueet. (Exel Composites Oyj 2009b.)

4.2 Tuotekehityksen materiaalivalinta ohjelma Ces EduPack 2013

Tuotekehityksen materiaalivalinta ohjelma Ces EduPack on kehitetty Camebridgen yliopistossa professorien Mike Ashbyn ja David Cebonin johdosta. Professorit perus-

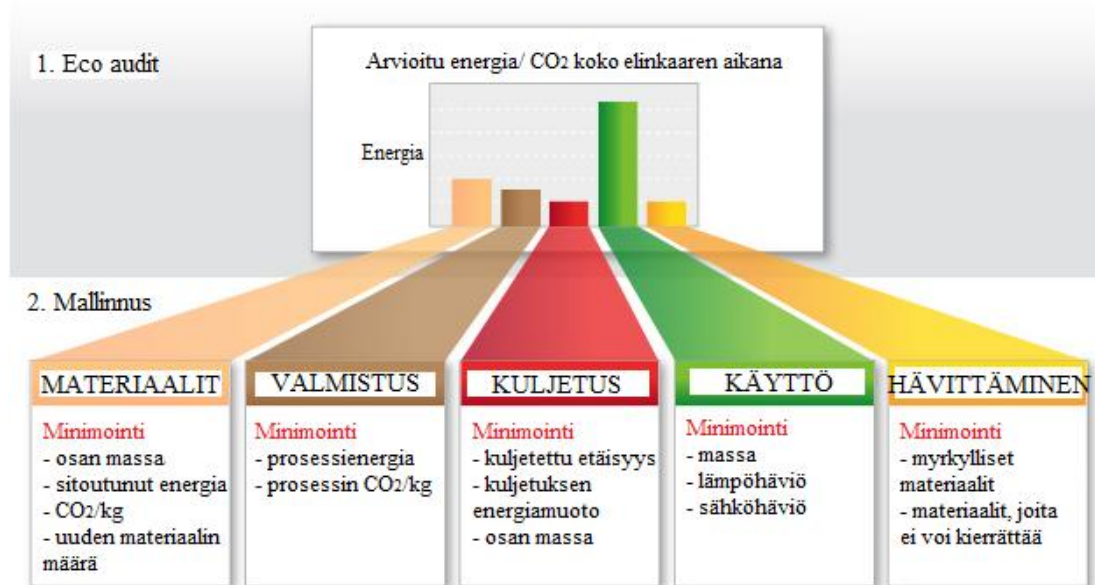
tivat yliopiston insinöörien laitokselle, Granta Design Oy:n vuonna 1994. Yhtiön omistaa herrojen lisäksi Camebridgen yliopisto, ASM International (society for materials scientists and engineers) sekä työntekijät. (Granta 2009.)

Granta Design Oy:n valmistama Ces EduPack on interaktiivinen ohjelma, joka on luotu opetuksen työkaluksi insinööri-, materiaalitieteiden- ja muotoilun opiskelijoille. Ohjelmalla voidaan tarkastella laajaa määrää materiaalien erilaisia ominaisuuksia ja prosessointitekniikkoja, joko selailemalla niitä tai luomalla kuvaajia esim. materiaalien erilaisista ominaisuuksista. Lisäksi ohjelman lisätyökalua Eco Audit Toolia voidaan käyttää tuotteen ympäristövaikutuksien selvittämisessä. Kokonaisvaltaisesti ohjelma sopii hyvin tuotekehitykseen, kun halutaan saada tuotteelle tietynlaiset ominaisuudet. (Granta 2009.)

Ces EduPack -ohjelma soveltuu hyvin opettajien työkaluksi opetukseen tarjoten kattavan tietokannan materiaaleista ja prosesseista, tehokkaat materiaali-ohjelmistotyökalut, laajan määrän opetusta tukevia oppikirjoja, luentoja, projekteja ja harjoituksia. Oppitunnit on helppoa suunnitella ryhmän tason mukaan, koska Ces EduPack -ohjelmassa on kolme eri perustasoa vastaamaan opiskelijoiden taitoja. Taso 1. on suunniteltu johdannoksi aloitteleville opiskelijoille sisältäen rajoitetun tietokannan materiaaleista ja prosessointitekniikoista. Taso 2. on suunniteltu keskitason opiskelijoille pyrkien kehittämään opiskelijoita ymmärtämään materiaalien ja prosessien tarkoitusta muotoilussa ja taitoa valita niitä. Taso 3. on suunnattu edistyneille/valmistuneille opiskelijoille antaen käyttöön täyden ammatillisen tietokannan materiaaleista ja prosesseista aivan kuten teollisuudessa käytetään. Materiaaleja on yli 3900 sekä prosesseja yli 200. (Granta 2009.)

4.2.1 Eco Audit Tool

Eco Audit Tool on nopea ja tehokas keino minimoida tuotteen ympäristövaikutuksia arvioiden tuotteen kokonaisvaltaisia vaikutuksia. Tuotteen ympäristövaikutuksien arvioinnissa ohjelma ottaa huomioon materiaalit, tuotteen valmistuksen, kuljetukset, käytön ja hävittämisen, kuten kuvassa 10 havainnollistetaan. Monet lähestymistavat tällaiseen kvantitatiiviseen arviointiin (esim. elinkaariarviointi, tai LCA menetelmät) vaativat suuren määrän yksityiskohtaista tietoa, joten ne eivät ole suunniteltu käytettäväksi nopeasti tai käytännöllisesti. (Granta 2009.)



KUVA 10. Eco Audit Tool jaottelee elinkaaren vaiheet viiteen eri luokkaan (yksikköprosesseihin) tuotteen elinkaaren aikana (muokaillen lähteestä Granta 2009).

Ohjelmaa voidaan käyttää jo suunnitteluprosessin alkuvaiheessa, jolloin voidaan tehdä merkittäviä muutoksia tuotteelle. Eco Audit Tool tarjoaa nopean arvioinnin CO₂ päästöille ja energian käytölle jokaisessa elinkaaren vaiheessa. Käyttäjällä on käytössä kattava valikoima materiaaleja halutuilla ominaisuuksilla valmistuksessa ja muotoilu-prosessissa, lisäksi on mahdollista käyttää omaa dataa. Lähestymistapa voidaan rinnastaa oikean maailman tuotannon skenaarioihin uhraamatta aikaa ja käyttäjäystävällisyyttä. Menetelmä ja sitä vastaava data ovat linjassa standardien PAS 2050 ja ISO 14040 kanssa, jotta tulokset olisivat yhdenmukaisia yksityiskohtaisempien LCA tutkimusten kanssa, joita mahdollisesti tehdään suunnitteluprosessin loppuvaiheessa. (Granta 2009.)

4.2.2 Eco Audit Tool -elinkaariarvioinnin toimintaperiaate ja käyttökohte

Elinkaariarviointiohjelman menetelmä ja siinä käytetty data ovat yhtenäisiä standardien PAS 2050 ja ISO 14040 kanssa. Granta Design on luetellut Internet-sivuillaan tyyppisimpiä tilanteita, joihin Eco Audit Toolia voidaan käyttää. Listassa on esitetty muun muassa tuotteen kustannuksien vähentäminen tuotteen elinkaaren aikana, ympäristömerkin saavuttaminen, ympäristömarkkinointi, auttaa esittämään ympäristöarvoja nopeasti ja vaivattomasti, sekä ylläpitämään ISO 14001 ympäristösertifikaattia toteut-

tamalla ympäristölähtöistä suunnittelutapaa. Näiden lisäksi ohjelma on erityisen hyvä tuotteiden suunnittelutyöhön, kun halutaan arvioida tuotteen ympäristövaikutuksia. Eco Audit Tool laskentamoduulin elinkaarivaiheiden ympäristöriskien määrittelyä on havainnollistettu taulukossa 2. Näihin määrittelyihin ja ohjelmiston dataan tuotekehityksen materiaalivalinta ohjelma Eco Audit Tool pohjautuu. (Granta 2009.)

TAULUKKO 2. Eco Audit Tool laskentamoduulin ympäristöriskien määrittelyä (Granta 2009).

LIFECYCLE PHASE	PROPERTIES
Raw materials: Primary material production: energy, CO ₂ and water	Embodied energy, primary production (MJ/kg) CO ₂ footprint, primary production (kg/kg) NO _x creation (g/kg) SO _x creation (g/kg) Recycle fraction in current supply (%) Water usage (l/kg)
Manufacturing: Material processing energy (MJ/kg) CO ₂ footprint (kg/kg)	Casting CO ₂ & energy Forging, rolling CO ₂ & energy Metal powder forming CO ₂ & energy Vaporization CO ₂ & energy Polymer molding CO ₂ & energy Polymer extrusion CO ₂ & energy Polymer machining CO ₂ & energy Ceramic powder forming CO ₂ & energy Glass molding CO ₂ & energy Standard machining CO ₂ & energy Non-standard machining CO ₂ & energy Simple composite molding CO ₂ & energy Advanced composite molding CO ₂ & energy Construction CO ₂ & energy
Use: Bio-data	Toxicity rating (non-toxic, slightly toxic, toxic, very toxic) RoHS (EU) compliant grades? (yes/no) Approved for skin and food contact (yes/no) WEEE prohibited (yes/no) The engineering and physical properties (e.g., density) in the MaterialUniverse database support calculation of, e.g., energy consumption during use
Disposal: Material recycling	Recycle? (yes/no) Embodied energy, recycling (MJ/kg) CO ₂ footprint, recycling (kg/kg) Recycle fraction in current supply (%) Downcycle? (yes/no) Biodegrade? (yes/no) Landfill? (yes/no) Heat of combustion (net) Combustion CO ₂ Non-recyclable use fraction

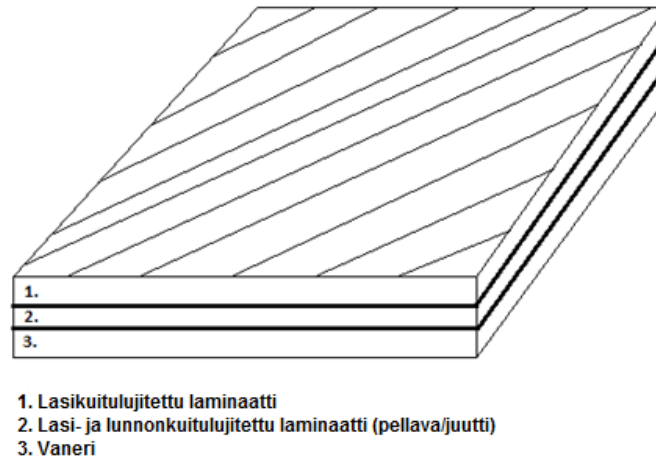
4.3 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittäminen

Opinnäytetyön elinkaariarviointi (LCA) on tehty noudattaen standardin ISO 14040:2006 vaatimuksia. Elinkaariarvioinnin neljä vaihetta on esitetty kuvassa 6 (luku 3). Tämä luku keskittyy määrittelemään tämän elinkaariarviointityön tavoitteita ja soveltamisalaa.

4.3.1 Työn tavoitteet

Työn lähtökohtana oli selvittää Exel Composites Oyj:n valmistamien kuitulujitettujen laminaattien ympäristövaikutuksia määrittämällä hiilijalanjälki sekä sitoutunut energia laminaattien elinkaarien eri vaiheissa. Lisäksi haluttiin saada selville olisiko uusiutuvat materiaalit, kuten pellava ja juutti ympäristöystävällisempiä laminaattien lujitemateriaaleja, kuin mitä lujitteena yleisesti käytetty lasikuitu. Työ on toteutettu Eco Audit Tool laskentamoduulilla mukaillen ISO 14044 -standardia.

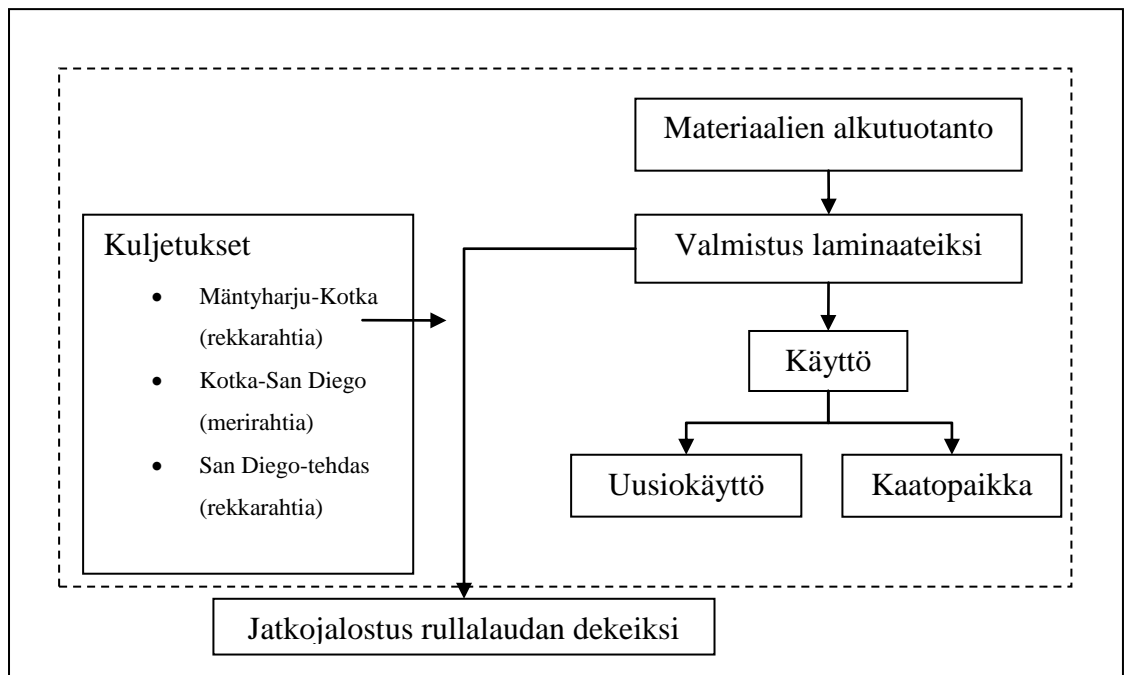
Exel Composites valmistaa kuitulujitettuja laminaatteja rullalaudan dekkien materiaaleiksi. Kuvasta 11 näkyy dekin eli rullalaudan lautaosan komposiittirakenne. Kyseinen lauta koostuu siis kahdesta kuitulujitetusta laminaatista, joista ensimmäinen on lasikuitulujitettu laminaatti ja toinen lasi- ja luonnonkuitulujitettu laminaatti. Näiden lisäksi rullalaudan lautaosaan tulee myös vanerilevy. Lasi- ja luonnonkuitulujitetun laminaatin luonnonkuitupitoisuus laminaatissa on vain 10 %, joten halutaan selvittää onko tällä pitoisuudella mitään ympäristöystävällistä vaikutusta laminaatin hiilijalanjälkeen sekä sitoutuneeseen energiaan.



KUVA 11. Rullalaudan dekin rakenne.

4.3.2 Toiminto ja toiminnallinen yksikkö ja järjestelmän rajat

Toiminnallisen yksikön pitää olla selvästi määritelty ja mitattavissa, jonka järjestelmä tuottaa. Tähän työhön toiminnallinen yksikkö on määritelty 1000 kg valmista tuotetta eli kuitulujitettua laminaattia. Kaikki Eco Audit Tool laskentamoduulilla määritetyt hiilijalanjäljet ja sitoutunut energia on laskettu yhtä toiminnallista yksikköä kohden erilaisin skenaarioin, jotka määritetään seuraavassa kappaleessa. Kuvassa 12 on esitetty tuotejärjestelmän rajaus, joka kuvaa kaikki toiminnot, jotka on otettu huomioon tässä elinkaariarvioinnissa.



KUVA 12. Tuotejärjestelmän raja.

Työn tuotejärjestelmä koostuu erilaisista yksikköprosesseista, kuten materiaalien alkutuotannosta, valmistuksesta, kuljetuksista, käytöstä, loppusijoituksesta (kaatopaikka) ja uusiokäytöstä. Tuotejärjestelmän ulkopuolelle on rajattu valmiiden laminaattien jatkojalostus rullalaudaksi. Tuotejärjestelmän raja määrytyi Eco Audit Tool laskentamoduulin luokittelemien viiden eri elinkaaren vaiheen (materiaalit, valmistus, kuljetus, käyttö ja hävittäminen) sekä työn tavoitteiden pohjalta.

4.4 Skenaarioiden valinta

Skenaarioiden valitsemisen lähtökohtana oli, että rullalaudan valmistukseen menevistä laminaateista ensimmäinen on lasikuitulujitettu laminaatti ja toinen on lasi- ja luonnonkuitulujitettu laminaatti. Yrityksellä oli laminaattien valmistuksessa käytössä luonnonkuiduista pellava, jota haluttiin verrata lasikuituun lujitteena. Pellavan lisäksi tähän elinkaariarviointiin valikoitui juuttikuitu, jotta voidaan vertailla myös kahden luonnonkuidun välisiä eroja laminaattien elinkaaren aikana.

Elinkaaren lopussa laminaatit, joko sijoitetaan kaatopaikalle tai uusiokäytetään. Uusiokäytöllä tarkoitetaan, sitä että tuote saa uuden elämän jonakin muuna tuotteena, esim. pöytänä. Näin voidaan vertailla kaatopaikasta koituvien päästöjen sekä uusiokäytön mahdollisia positiivisia vaikutuksia.

Viimeinen skenaarioita määrittelevä tekijä oli kuitupitoisuuksien painoprosentit valmiista laminaatista. Skenaarioissa on käytetty luonnonkuitupitoisuuksien painoprosentteina valmiista laminaatista 10 % ja suurempaa 30 % pitoisuutta. Näin voidaan vertailla eri kuitupitoisuuksien vaikutusta laminaatin ympäristöystävällisyyteen. Tutkimuksen skenaarioiden vertailtavuuden takia nollaskenaarioksi valikoitui lasikuitulujitettu laminaatti, koska oletettiin sillä olevan huonoimmat ympäristövaikutukset. Taulukossa 3 on havainnollistettu kaikki viisi skenaariot 0-2.1. Yksi skenaario vastaa 1000 kg valmista kuitulujitettua laminaattia, joka muodostaa elinkaariarvioinnin tuotteen.

TAULUKKO 3. Skenaarioiden 0-2.2 määrittäminen.

Skenaariot	Käytetyt materiaalit, massaosuudet (kg) sekä kuitupitoisuudet painoprosentteina laminaatista	Loppusijoitusmuoto
Skenaario 0	lasikuitulujitettu laminaatti: <ul style="list-style-type: none"> lasikuitu 710 kg (71 %) epoksihartsia 290 kg (29 %) 	kaatopaikka ja uusiokäyttö
Skenaario 1	lasi- ja pellavakuitulujitettu laminaatti: <ul style="list-style-type: none"> lasikuitu 590 kg (59 %) pellavakuitu 100 kg (10 %) epoksihartsia 310 kg (31 %) 	kaatopaikka ja uusiokäyttö
Skenaario 1.1	lasi- ja pellavakuitulujitettu laminaatti: <ul style="list-style-type: none"> lasikuitu 390 kg (39 %) pellavakuitu 300 kg (30 %) epoksihartsia 310 kg (31 %) 	kaatopaikka ja uusiokäyttö
Skenaario 2	lasi- ja juuttikuitulaminaatti: <ul style="list-style-type: none"> lasikuitu 590 kg (59 %) juuttikuitu 100 kg (10 %) epoksihartsia 310 kg (31 %) 	kaatopaikka ja uusiokäyttö
Skenaario 2.1	lasi- ja juuttikuitulaminaatti: <ul style="list-style-type: none"> lasikuitu 390 kg (39 %) juuttikuitu 300 kg (30 %) epoksihartsia 310 kg (31 %) 	kaatopaikka ja uusiokäyttö

5 ELINKAARIARVIOINNIN TULOKSET

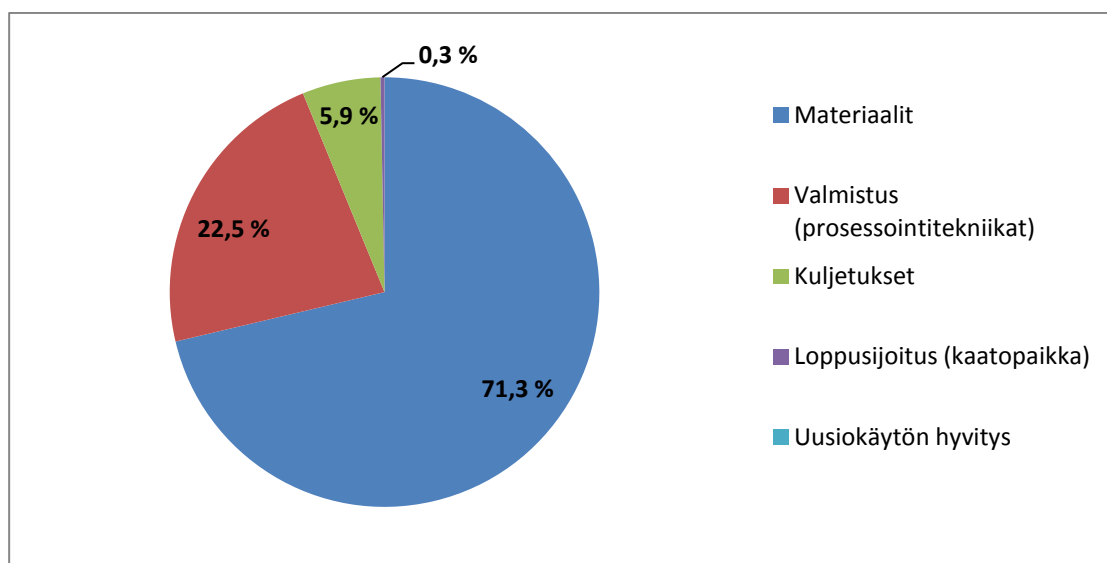
Tulosten tulkinta on elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe. Tuloksinalla tunnistetaan elinkaariarvioinnin tärkeimmät elinkaaren vaiheet sekä prosessit, jotka aiheuttavat päästöjä. Näitä tuloksia vertailemalla voidaan selvittää suurimmat päästöjen aiheutta-

jat. Tulosten tulkinnan pohjalta tehdään johtopäätökset arvioiden menetelmätekniikkaa ja tulosten oikeellisuutta muun muassa vertaamalla niitä muiden tuotteiden elinkaariarviointeihin. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kuitulujitettujen laminaattien ympäristövaikutuksia määrittämällä hiilijalanjälki sekä sitoutunut energia laminaattien eri elinkaaren vaiheissa. Lisäksi tutkin luonnonkuitulujitteen mahdollista positiivista ympäristövaikutusta nostamalla luonnonkuidun massaosuutta laminaateissa. Tarkemmat tulokset on esitetty taulukkoina ja kuvaajina liitteissä 1–5.

5.1 Laminaattien hiilijalanjäljet elinkaaren eri vaiheissa

Tulosten tulkinnassa on tärkeää huomioida elinkaariarvioinnin jokainen vaihe tutkimuksen alussa asetettujen tavoitteiden näkökulmasta. Tulosten tulkinnalla voidaan pyrkiä parantamaan inventaarioanalyysissä luotua mallia, jotta tutkimuksen tavoitteet täyttyisivät. Mikäli inventaarioanalyysissä luodun mallin parantamiseen ei ole tarvetta, silloin voidaan tehdä tutkimukseen pohjautuvat johtopäätökset ja mahdolliset suositukset. (SFS-EN ISO 14044 2006, 54–58.)

Skenaarioiden 0-2.₁ määrittämisen pohjalta kuva 13 esittää kaikkien viiden laminaatin hiilijalanjälki -tuloksien jakautumista elinkaariarvioinnin viiteen eri vaiheeseen: materiaalit, valmistus (prosessointitekniikat), kuljetukset, loppusijoitus (kaatopaikka) ja uusiokäyttö. Uusiokäytön prosentuaalista osuutta ei ole kuvattu alla olevassa ympyrädiagrammissa. Tilanteessa, jossa laminaattien loppusijoitus ei olisi kaatopaikka, vaan tuote uusiokäytettäisiin, jossain muodossa laminaattien hiilijalanjäljet vähenisivät noin 60–70 %.

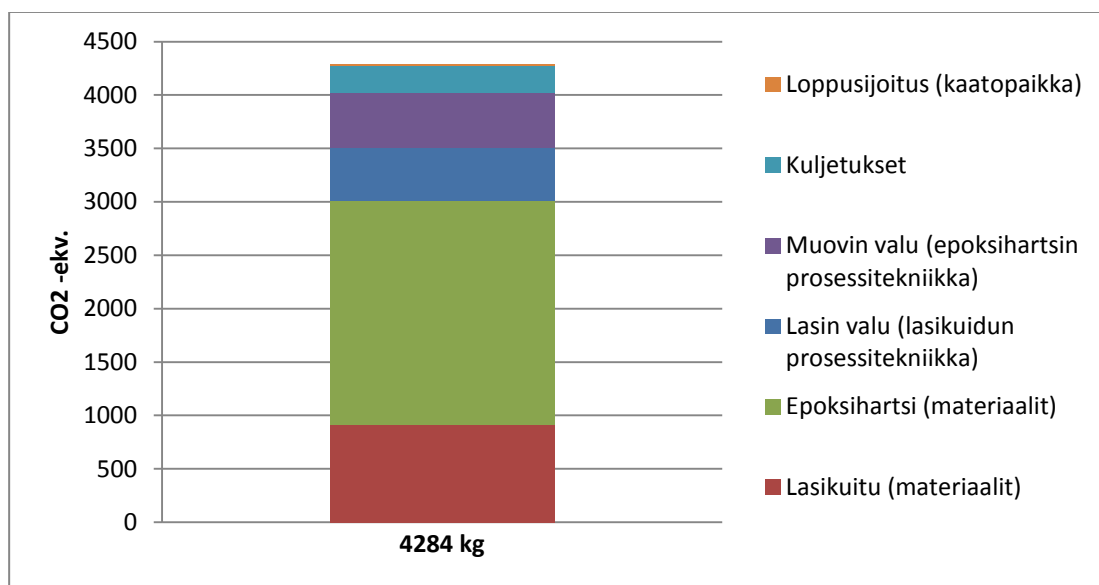


KUVA 13. Hiilijalanjäljen jakautuminen elinkaaren eri vaiheiden kesken.

Seuraavaksi käsittelen kaikki nämä elinkaariarvioinnin vaiheet yksitellen läpi, jokaisesta viidestä eri kuitulujitetusta laminaatista. Pyrin tunnistamaan näihin vaiheisiin vaikuttavat tärkeimmät prosessit ja oletukset. Päätelmäni pohjautuvat Ces EduPack tuotekehityksen materiaalivalinta ohjelman prosessien kuvauksiin sekä dataan.

5.1.1 Lasikuitulujitettu laminaatti

Lasikuitulujitetun laminaatin hiilijalanjäljeksi muodostui 4284 kg CO₂-ekv./1000 kg. Hiilijalanjälki oli toiseksi suurin elinkaariarvioinnin viidestä eri kuitulujitetusta laminaatista. Kuvaan 14 on eritelty tarkemmin eri elinkaaren vaiheista muodostuvia CO₂-päästöjä.



KUVA 14. Lasikuitulujitetun laminaatin hiilijalanjäljen muodostuminen (skenaario 0.)

Materiaaleista aiheutui 70,3 % (3010 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Lasikuitulujitettu laminaatti oli valmistettu kahdesta raaka-aineesta lasikuidusta sekä epoksihartsista. Suurimmat CO₂-päästöt syntyivät epoksihartsista (2100 kg CO₂-ekv.). Vastaavasti lasikuidusta syntyi 910 kg CO₂-päästöjä.

Valmistuksessa käytetyistä prosessitekniikoista aiheutui 23,6 % (1010 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂ -päästöistä. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua ja muovin valua. Näiden kahden pro-

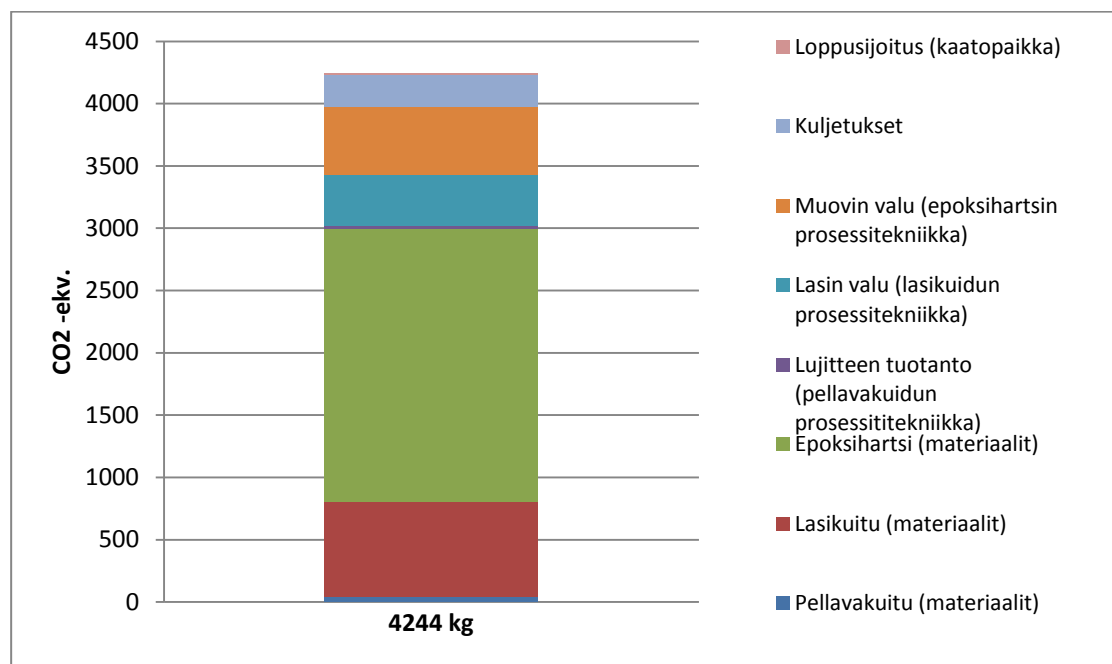
sessin CO₂ -päästöissä ei ollut huomattavaa eroa. Lasin valaminen aiheutti 500 kg ja muovin valaminen 510 kg CO₂ -päästöjä.

Kuljetuksista aiheutui vain 5,8 % (250 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂ -päästöistä. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui 0,3 % (14 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Kuljetus ja loppusijoitus tuotteen elinkaaren vaiheina eivät ole oleellisia CO₂-päästöjen aiheuttajia (suurin osa kuljetuksesta on merirahaa).

5.1.2 Lasi- ja pellavakuitulujitetut laminaatit

Luvussa 4 määritettyjen skenaarioiden pohjalta tässä kappaleessa on esitetty hiilijalanjäljet kahdelle lasi- ja pellavakuitulujitetulle laminaatille. Ensimmäisessä laminaatissa lasikuidun massaosuus on 59 %, epoksihartsin 31 % sekä pellavan 10 %, koko laminaatin massasta. Toisessa laminaatissa lasikuidun massaosuus on 39 %, epoksihartsin 31 % sekä pellavan 30 %.

Ensimmäisen laminaatin hiilijalanjäljeksi muodostui 4244 kg CO₂-ekv./1000 kg. Hiilijalanjälki oli toiseksi pienin elinkaariarvioinnin viidestä eri laminaatista. Kuvaan 15 on eritelty tarkemmin eri elinkaaren vaiheista syntyviä CO₂-päästöjä.



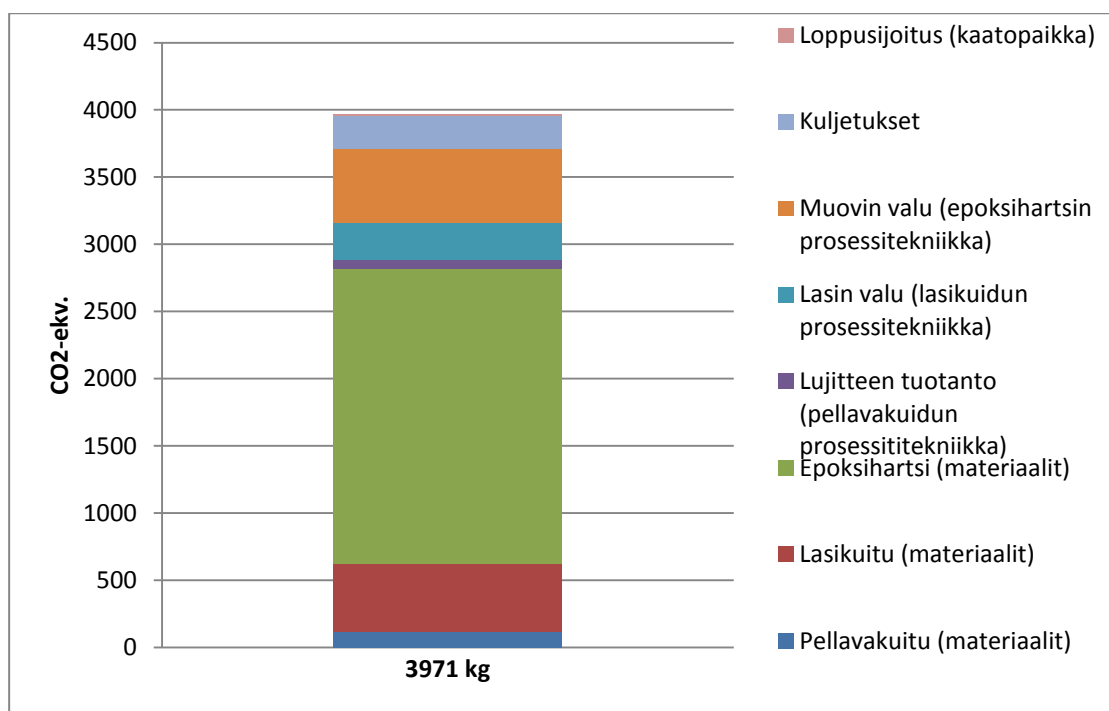
KUVA 15. Lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin hiilijalanjäljen muodostuminen (skenaario 1.)

Materiaaleista aiheutui 70,7 % (2999 kg CO₂-ekv.) koko lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Lasi- ja pellavakuitulujitettu laminaatti oli valmistettu lasikuidusta, epoksihartsista sekä pellavasta. Suurimmat CO₂-päästöt näistä materiaaleista aiheutuivat epoksihartsista (2200 kg CO₂-ekv.) Lasikuidusta syntyi 760 kg ja pellavasta 39 kg CO₂-päästöjä.

Valmistuksessa käytetyistä prosessitekniikoista aiheutui 23,1 % (981 kg CO₂-ekv.) koko lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua, muovin valua ja pellavalujitteen tuotantoa. Suurimmat CO₂-päästöt aiheutuivat muovin valusta 550 kg, sitten lasin valusta 410 kg ja vähiten pellavalujitteen tuotannosta 21 kg.

Kuljetuksista aiheutui vain 5,9 % (250 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui 0,3 % (14 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Kuljetus ja loppusijoitus tuotteen elinkaaren vaiheina eivät ole oleellisia CO₂-päästöjen aiheuttajia (suurin osa kuljetuksesta on merirahtia).

Toisesta lasi- pellavakuitulujitetusta laminaatista, jossa pellavakuitupitoisuutta oli nostettu 30 %:iin, hiilijalanjäljeksi muodostui 3971 kg CO₂-ekv./1000 kg. Tällä laminaatilla oli elinkaariarvioinnin pienin hiilijalanjälki. Kuvaan 16 on eritelty elinkaaren eri vaiheista syntyviä CO₂-päästöjä.



KUVA 16. Lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin hiilijalanjäljen muodostuminen skenaario 1.1.)

Materiaaleista aiheutui 71 % (2820 kg CO₂-ekv.) koko lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Lasi- ja pellavakuitulujitettu laminaatti oli valmistettu lasikuidusta, epoksihartsista sekä pellavasta. Suurimmat CO₂ -päästöt näistä materiaaleista syntyi epoksihartsista 2200 kg CO₂-ekvivalenttia. Lasikuidusta syntyi 500 kg ja pellavasta 120 kg CO₂-päästöjä.

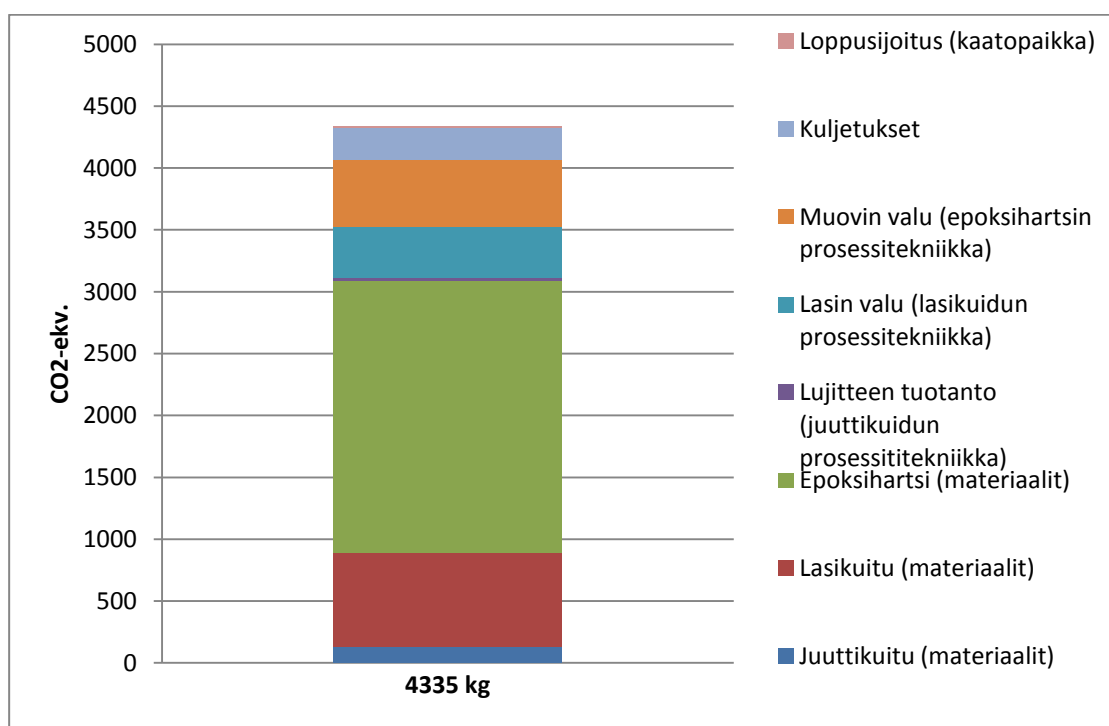
Valmistuksessa käytetyistä prosessitekniikoista aiheutui 22,3 % (887 kg CO₂-ekv.) koko lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua, muovin valua ja pellavalujitteen tuotantoa. Huomattavimmat CO₂-päästöt aiheutuivat muovin valusta 550 kg. Lasin valusta syntyi 270 kg ja pellavalujitteen tuotannosta 67 kg.

Kuljetuksista aiheutui vain 6,3 % (250 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂ -päästöistä. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui 0,3 % (14 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Kuljetus ja loppusijoitus tuotteen elinkaaren vaiheina eivät ole oleellisia CO₂-päästöjen aiheuttajia (suurin osa kuljetuksesta on merirahdista).

5.1.3 Lasi- ja juuttikuitulujitetut laminaatit

Luvussa 4 määritettyjen skenaarioiden pohjalta tässä kappaleessa on esitetty hiilijalanjäljet kahdelle lasi- ja juuttikuitulujitetulle laminaatille. Ensimmäisessä laminaatissa lasikuidun massaosuus on 59 %, epoksihartsin 31 % sekä juutin 10 %, koko laminaatin massasta. Toisessa laminaatissa lasikuidun massaosuus on 39 %, epoksihartsin 31 % sekä juutin 30 %.

Ensimmäisen laminaatin hiilijalanjäljeksi muodostui 4335 kg CO₂-ekv./1000 kg. Hiilijalanjälki oli suurin elinaariarvioinnin viidestä eri laminaatista. Kuvaan 17 on eritelty tarkemmin elinkaaren eri vaiheista syntyviä CO₂-päästöjä.



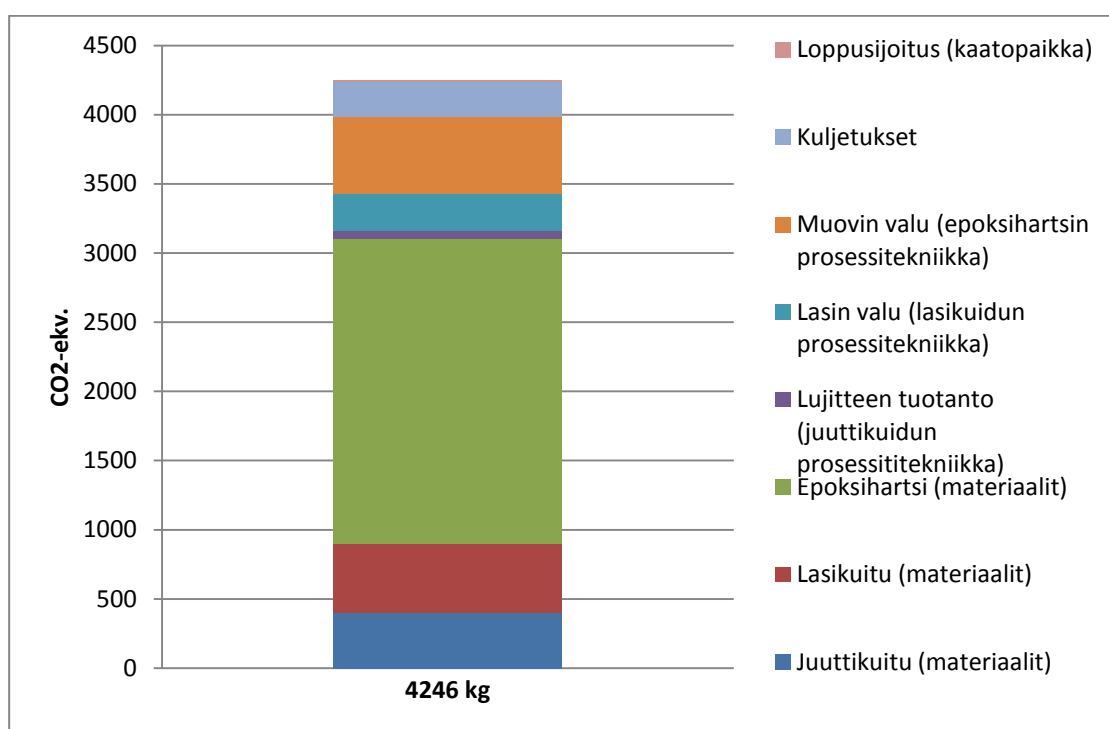
KUVA 17. Lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin hiilijalanjäljen muodostuminen (skenaario 2.)

Materiaaleista aiheutui 71,3 % (3090 kg CO₂-ekv.) koko lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Lasi- ja juuttikuitulujitettu laminaatti oli valmistettu lasikuidusta, epoksihartsista sekä juutista. Suurimmat CO₂-päästöt näistä materiaaleista syntyi epoksihartsista 2200 kg CO₂-ekv. Lasikuidusta syntyi 760 ja juutista 130 kg CO₂-päästöjä.

Valmistuksessa käytetyistä prosessitekniikoista aiheutui 22,6 % (981 kg CO₂-ekv.) koko lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin CO₂ -päästöistä. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua, muovin valua ja juuttilujitteen tuotantoa. Huomattavimmat päästöt aiheutuivat muovin valusta 550 kg. Lasin valusta syntyi 410 kg ja juuttilujitteen tuotannosta 21 kg.

Kuljetuksista aiheutui vain 5,8 % (250 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂ -päästöistä. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui 0,3 % (14 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂ -päästöistä. Kuljetus ja loppusijoitus tuotteen elinkaaren vaiheina eivät ole oleellisia CO₂-päästöjen aiheuttajia (suurin osa kuljetuksesta on merirahtia).

Toisesta lasi- ja juuttikuitulujitetusta laminaatista, jossa juuttikuitupitoisuutta oli nostettu 30 %:iin, hiilijalanjäljeksi muodostui 4246 kg CO₂-ekv./1000 kg. Tämän laminaatin hiilijalanjälki oli elinkaariarvioinnin kolmanneksi suurin. Kuvaan 18 on eritelty elinkaaren eri vaiheista syntyviä CO₂-päästöjä.



KUVA 18. Lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin hiilijalanjäljen muodostuminen (skenaario 2.1.)

Materiaaleista aiheutui 73 % (3100 kg CO₂-ekv.) koko lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Lasi- ja juuttikuitulujitettu laminaatti oli valmistettu lasi-

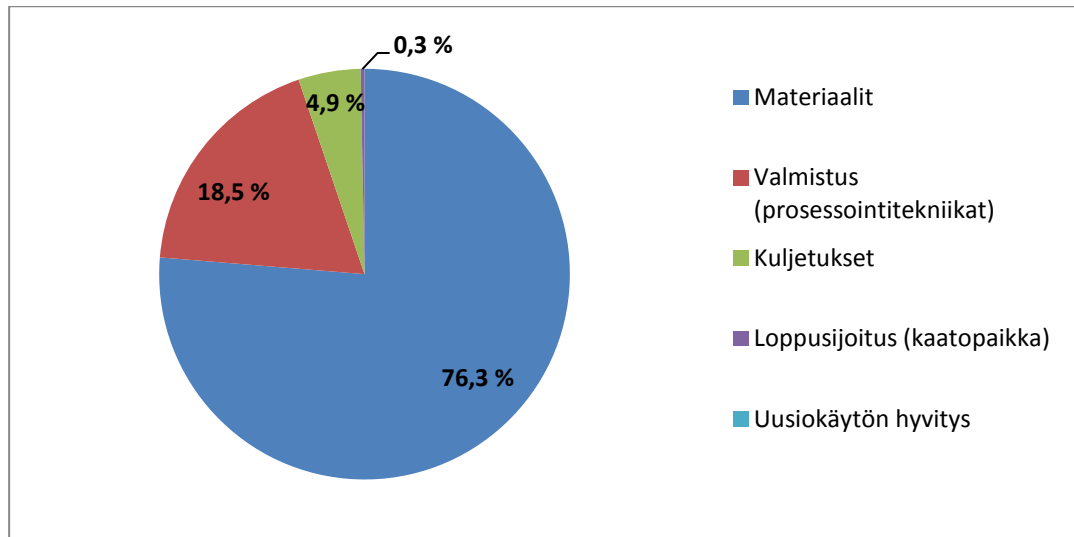
kuidusta, epoksihartsista sekä juutista. Suurimmat CO₂-päästöt näistä materiaaleista syntyi epoksihartsista 2200 kg CO₂-ekv. Lasikuidusta syntyi 500 kg ja juutista 400 kg CO₂-päästöjä.

Valmistuksessa käytetyistä prosessitekniikoista aiheutui 20,8 % (882 kg CO₂-ekv.) koko lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin CO₂ -päästöistä. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua, muovin valua ja juuttilujitteen tuotantoa. Huomattavimmat CO₂-päästöt aiheutuivat muovin valusta 550 kg. Lasin valusta aiheutui 270 kg ja juuttilujitteen tuotannosta 62 kg.

Kuljetuksista aiheutui vain 5,9 % (250 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂ -päästöistä. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui 0,3 % (14 kg CO₂-ekv.) koko lasikuitulujitetun laminaatin CO₂-päästöistä. Kuljetus ja loppusijoitus tuotteen elinkaaren vaiheina eivät ole oleellisia CO₂-päästöjen aiheuttajia (suurin osa kuljetuksesta on merirahtia).

5.2 Laminaatteihin sitoutunut energia elinkaaren eri vaiheissa

Skenaarioiden 0-2.1 määrittelyn pohjalta kuva 19 esittää kaikkien viiden laminaatin sitoutuneen energian jakautumista elinkaariarvioinnin viiteen eri vaiheeseen: materiaalit, valmistus (prosessointitekniikat), kuljetukset, loppusijoitus (kaatopaikka) ja uusiokäyttö. Uusiokäytön prosentuaalista osuutta ei ole kuvattu alla olevassa ympyrädiagrammissa. Tilanteessa, jossa laminaattien loppusijoitus ei olisi kaatopaikka, vaan uusiokäytettäisiin, jossain muodossa laminaattien sitoutunut energia vähenisi noin 60–70 %.

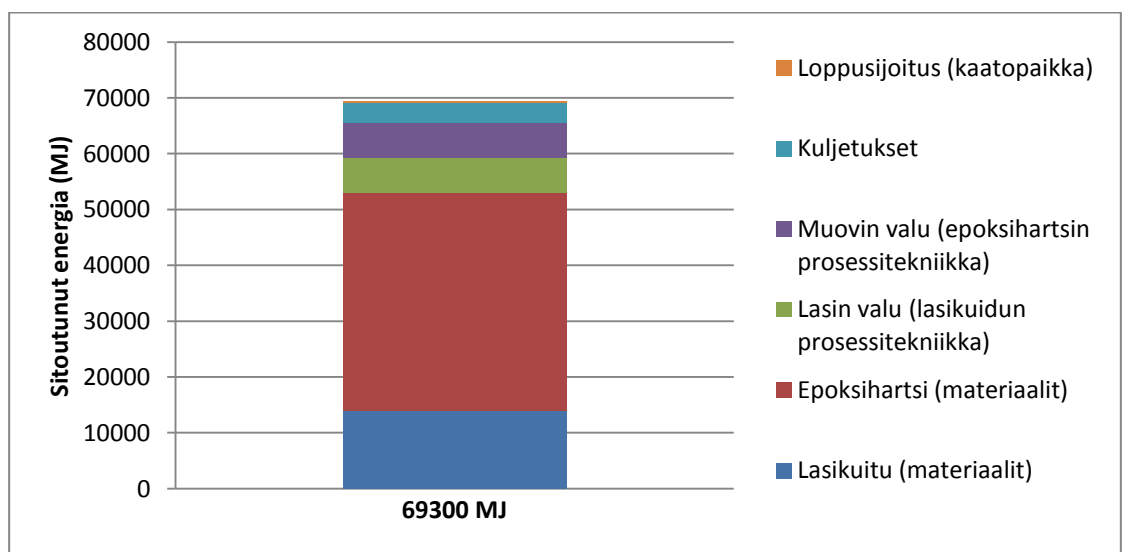


KUVA 19. Sitoutuneen energian jakautuminen elinkaaren eri vaiheiden kesken.

Seuraavaksi käsittelemme kaikki nämä elinkaariarvioinnin vaiheet yksitellen läpi, jokaisesta viidestä eri kuitulujitetusta laminaatista. Pyrin tunnistamaan näihin vaiheisiin vaikuttavat tärkeimmät prosessit ja oletukset. Päätelmäni pohjautuvat Ces EduPack tuotekehityksen materiaalivalinta ohjelman prosessien kuvauksiin sekä dataan.

5.2.1 Lasikuitulujitettu laminaatti

Lasikuitulujitettuun laminaattiin sitoutui energiaa 69300 MJ/1000 kg. Tähän laminaattiin sitoutui vähiten energiaa kaikista laminaateista. Kuvaan 20 on eritelty tarkemmin elinkaaren eri vaiheisiin sitoutuneet energiat.



KUVA 20. Lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneen energian muodostuminen (skenaario 0.)

Materiaaleihin sitoutui energiaa 76,5 % (53 000 MJ) koko lasikuitulujitetuun laminaattiin sitoutuneesta energiasta. Lasikuitulujitetun laminaatin materiaaleina oli lasikuitu sekä epoksihartsi. Epoksihartsiin sitoutui eniten energiaa (39 000 MJ) näistä materiaaleista. Vastaavasti lasikuituun sitoutui energiaa 14 000 MJ.

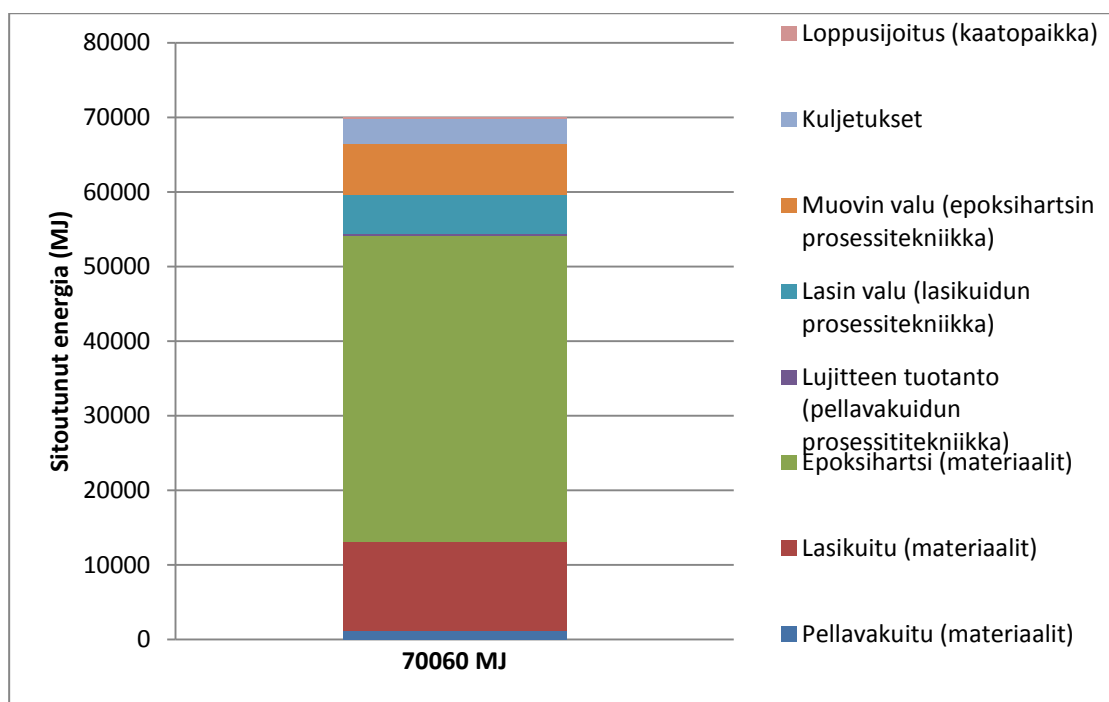
Valmistuksessa käytettyihin prosessitekniikoihin sitoutui 18,2 % (12 600 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua ja muovin valua. Näiden kahden prosessin sitoutuneissa energioissa ei ollut huomattavia eroja. Lasin valaminen sitoi energiaa 6200 MJ ja muovin valaminen sitoi energiaa 6400 MJ.

Kuljetuksista aiheutui vain 5,1 % (3500 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui vain 0,2 % (200 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kuljetus ja loppusijoitus eivät ole tuotteen elinkaaren vaiheista oleellisia energiaa sitovia vaiheita (suurin osa kuljetuksesta on merirahtia).

5.2.2 Lasi- ja pellavakuitulujitetut laminaatit

Luvussa 4 määritettyjen skenaarioiden pohjalta tässä kappaleessa on esitetty sitoutuneet energiat kahdelle lasi- ja pellavakuitulujitetulle laminaatille. Ensimmäisessä laminaatissa lasikuidun massaosuus on 59 %, epoksihartsin 31 % sekä pellavan 10 %, koko laminaatin massasta. Toisessa laminaatissa lasikuidun massaosuus on 39 %, epoksihartsin 31 % sekä pellavan 30 %.

Ensimmäiseen laminaattiin sitoutui energiaa 70060 MJ/1000 kg. Tähän laminaattiin sitoutui toiseksi vähiten energiaa elinkaariarvioinnin viidestä eri laminaatista. Kuvaan 21 on eritelty tarkemmin eri elinkaaren vaiheisiin sitoutuneet energiat.



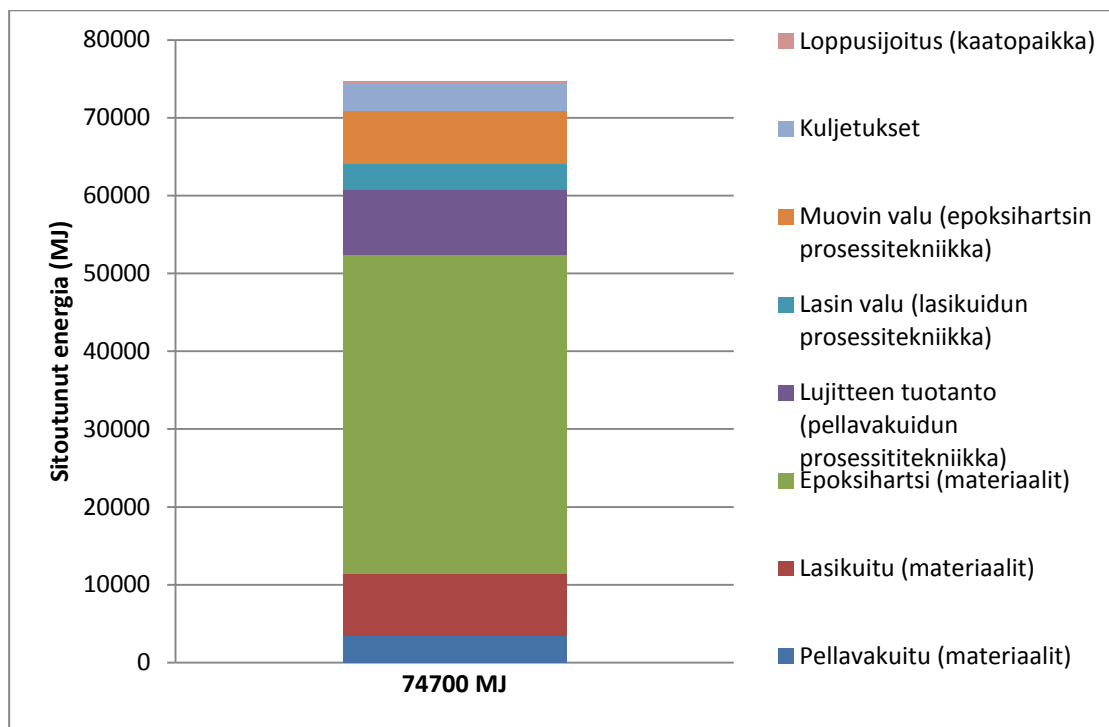
KUVA 21. Lasi- ja pellavalujitetun laminaatin sitoutuneen energian muodostuminen (skenaario 1.)

Materiaaleihin sitoutui energiaa 77,2 % (54100 MJ) koko lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin materiaaleina oli lasikuitu sekä epoksihartsi. Epoksihartsiin sitoutui eniten energiaa 41000 MJ näistä materiaaleista. Lasikuituun sitoutui 12000 MJ energiaa ja pellavaan 1100 MJ energiaa.

Valmistuksessa käytettyihin prosessitekniikoihin sitoutui 17,5 % (12260 MJ) koko lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua, muovin valua ja pellavalujitteen tuotantoa. Muovin valaminen sitoi energiaa 6800 MJ. Lasin valaminen sitoi 5200 MJ ja pellavalujitteen tuotanto 260 MJ energiaa.

Kuljetuksista aiheutui vain 5,0 % (3500 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui 0,3 % (200 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kuljetus ja loppusijoitus eivät ole tuotteen elinkaaren vaiheista oleellisia energiaa sitovia vaiheita (suurin osa kuljetuksesta on merirahattia).

Toisesta laminaatista, jossa pellavakuitupitoisuutta oli nostettu 30 %:iin, energiaa sitoutui 74700 MJ/1000 kg. Tähän laminaattiin sitoutui eniten energiaa elinkaariarvioinnin viidestä eri laminaatista. Kuvaan 22 on eritelty tarkemmin eri elinkaaren vaiheisiin sitoutuneet energiat.



KUVA 22. Lasi- ja pellavalujitetun laminaatin sitoutuneen energian muodostuminen (skenaario 1.1.)

Materiaaleihin sitoutui energiaa 70,1 % (52400 MJ) koko lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin materiaaleina oli lasikuitu sekä epoksihartsin. Epoksihartsin sitoutui eniten energiaa 41000 MJ näistä materiaaleista. Lasikuituun sitoutui 7900 MJ energiaa ja pellavaan 3500 MJ energiaa.

Valmistuksessa käytettyihin prosessiteknikoihin sitoutui 24,8 % (18500 MJ) koko lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessiteknikkoina lasin valua, muovin valua ja pellavalujitteen tuotantoa. Muovin valaminen sitoi energiaa 6800 MJ. Lasin valaminen sitoi 3400 MJ ja pellavalujitteen tuotanto 8300 MJ energiaa.

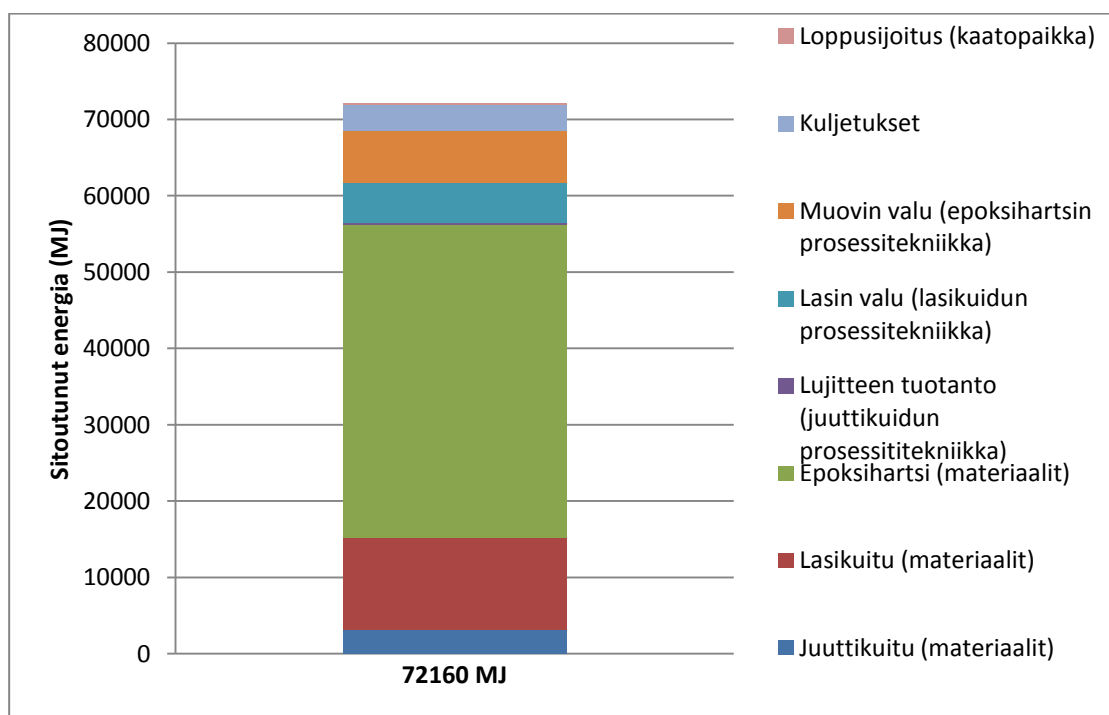
Kuljetuksista aiheutui vain 4,8 % (3600 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaato-

paikalle aiheutui 0,3 % (200 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kuljetus ja loppusijoitus eivät ole tuotteen elinkaaren vaiheista oleellisia energiaa sitovia vaiheita (suurin osa kuljetuksesta on merirahtia).

5.2.3 Lasi- ja juuttikuitulujitetut laminaatit

Luvussa 4 määritettyjen skenaarioiden pohjalta tässä kappaleessa on esitetty sitoutuneet energiat kahdelle lasi- ja juuttikuitulujitetulle laminaatille. Ensimmäisessä laminaatissa lasikuidun massaosuus on 59 %, epoksihartsin 31 % sekä juutin 10 %, koko laminaatin massasta. Toisessa laminaatissa lasikuidun massaosuus on 39 %, epoksihartsin 31 % sekä juutin 30 %.

Ensimmäiseen laminaattiin sitoutui energiaa 72160 MJ/1000 kg. Tähän laminaattiin sitoutui kolmanneksi eniten energiaa elinkaariarvioinnin viidestä eri laminaatista. Kuvaan 23 on eritelty tarkemmin eri elinkaaren vaiheisiin sitoutuneet energiat.



KUVA 23. Lasi- ja juuttilujitetun laminaatin sitoutuneen energian muodostuminen (skenaario 2.)

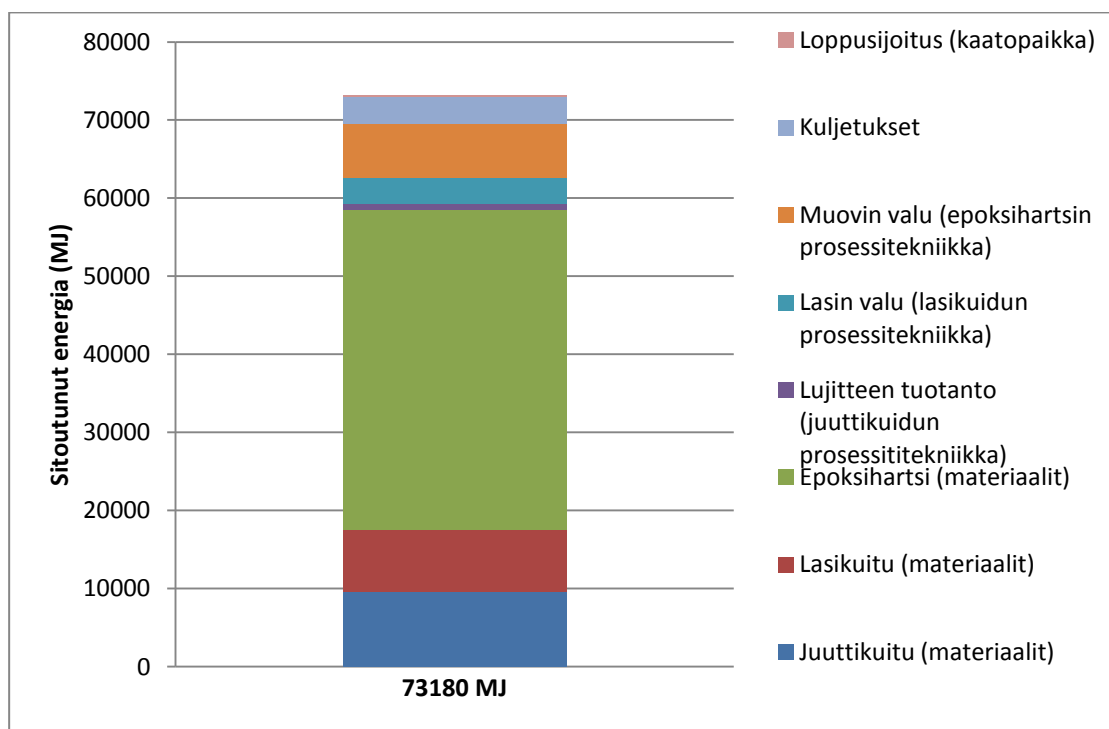
Materiaaleihin sitoutui energiaa 77,9 % (56200 MJ) koko lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin materiaaleina oli lasikuitu sekä epoksihartsi. Epoksihartsin sitoutui eniten energiaa 41000 MJ

näistä materiaaleista. Lasikuituun sitoutui 12000 MJ energiaa ja juuttiin 3200 MJ energiaa.

Valmistuksessa käytettyihin prosessitekniikoihin sitoutui 16,9 % (12260 MJ) koko lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua, muovin valua ja juuttilujitteen tuotantoa. Muovin valaminen sitoi energiaa 6800 MJ. Lasin valaminen sitoi 5200 MJ ja pellavalujitteen tuotanto 260 MJ energiaa.

Kuljetuksista aiheutui vain 4,9 % (3500 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui 0,3 % (200 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kuljetus ja loppusijoitus eivät ole tuotteen elinkaaren vaiheista oleellisia energiaa sitovia vaiheita (suurin osa kuljetuksesta on merirahtia).

Toisesta laminaatista, jossa juuttikuitupitoisuutta oli nostettu 30 %:iin, energiaa sitoutui 73180 MJ/1000 kg. Tähän laminaattiin sitoutui toiseksi eniten energiaa elinkaarivaiheiden viidestä eri laminaatista. Kuvaan 24 on eritelty tarkemmin eri elinkaaren vaiheisiin sitoutuneet energiat.



KUVA 24. Lasi- ja juuttilujitetun laminaatin sitoutuneen energian muodostuminen (skenaario 2.1.)

Materiaaleihin sitoutui energiaa 79,9 % (58500 MJ) koko lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin materiaaleina oli lasikuitu sekä epoksiharts. Epoksihartsiin sitoutui eniten energiaa 41000 MJ näistä materiaaleista. Lasikuituun sitoutui 7900 MJ energiaa ja juuttiin 9600 MJ energiaa.

Valmistuksessa käytettyihin prosessitekniikoihin sitoutui 15 % (10980 MJ) koko lasi- ja juuttikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kyseisen laminaatin valmistuksessa oli käytetty prosessitekniikkoina lasin valua, muovin valua ja juuttilujitteen tuotantoa. Muovin valaminen sitoi energiaa 6800 MJ. Lasin valaminen sitoi 3400 MJ ja juuttilujitteen tuotanto 780 MJ energiaa.

Kuljetuksista aiheutui vain 4,8 % (3500 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Loppusijoituksesta eli laminaatin elinkaaren loppumisesta kaatopaikalle aiheutui 0,3 % (200 MJ) koko lasikuitulujitetun laminaatin sitoutuneesta energiasta. Kuljetus ja loppusijoitus eivät ole tuotteen elinkaaren vaiheista oleellisia energiaa sitovia vaiheita (suurin osa kuljetuksesta on merirahtia).

6 ELINKAARIARVIOINNIN TULOSTARKASTELUA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kuitulujitettujen laminaattien ympäristövaikutuksia määrittämällä hiilijalanjälki sekä sitoutunut energia viidelle eri kuitulujitetulle laminaatille, niiden elinkaaren eri vaiheissa. Elinkaariarviointi on tehty käyttäen Ces EduPack tuotekehityksen materiaalivalinta ohjelman Eco Audit Tool laskentamoduulia. Toiminnalliseksi yksiköksi näille viidelle kuitulujitetulle laminaatille muodostui 1000 kg valmista laminaattia, jotta tuloksia voitiin verrata muihin hiilijalanjälki tutkimuksiin. Kaikki viisi eri kuitulujitteista laminaattia sekä niiden hiilijalanjälki ja sitoutunut energia on lueteltu alla.

1. Lasikuitulujitettu laminaatti (skenaario 0)

- hiilijalanjälki: 4284 kg CO₂-ekv./1000 kg
- sitoutunut energia: 69300 MJ/1000 kg

2. Lasi- ja pellavalujitettu laminaatti (skenaario 1)

- hiilijalanjälki: 4244 kg CO₂-ekv./1000 kg
- sitoutunut energia: 70060 MJ/1000 kg

3. Lasi- ja pellavalujitettu laminaatti (skenaario 1.1)

- hiilijalanjälki: 3971 kg CO₂-ekv./1000 kg
- sitoutunut energia: 74700 MJ/1000 kg

4. Lasi- ja juuttikuitulujitettu laminaatti (skenaario 2)

- hiilijalanjälki: 4335 kg CO₂-ekv./1000 kg
- sitoutunut energia: 72160 MJ/1000 kg

5. Lasi ja juuttikuitulujitettu laminaatti (skenaario 2.2)

- hiilijalanjälki: 4246 kg CO₂-ekv./1000 kg
- sitoutunut energia: 73180 MJ/1000 kg

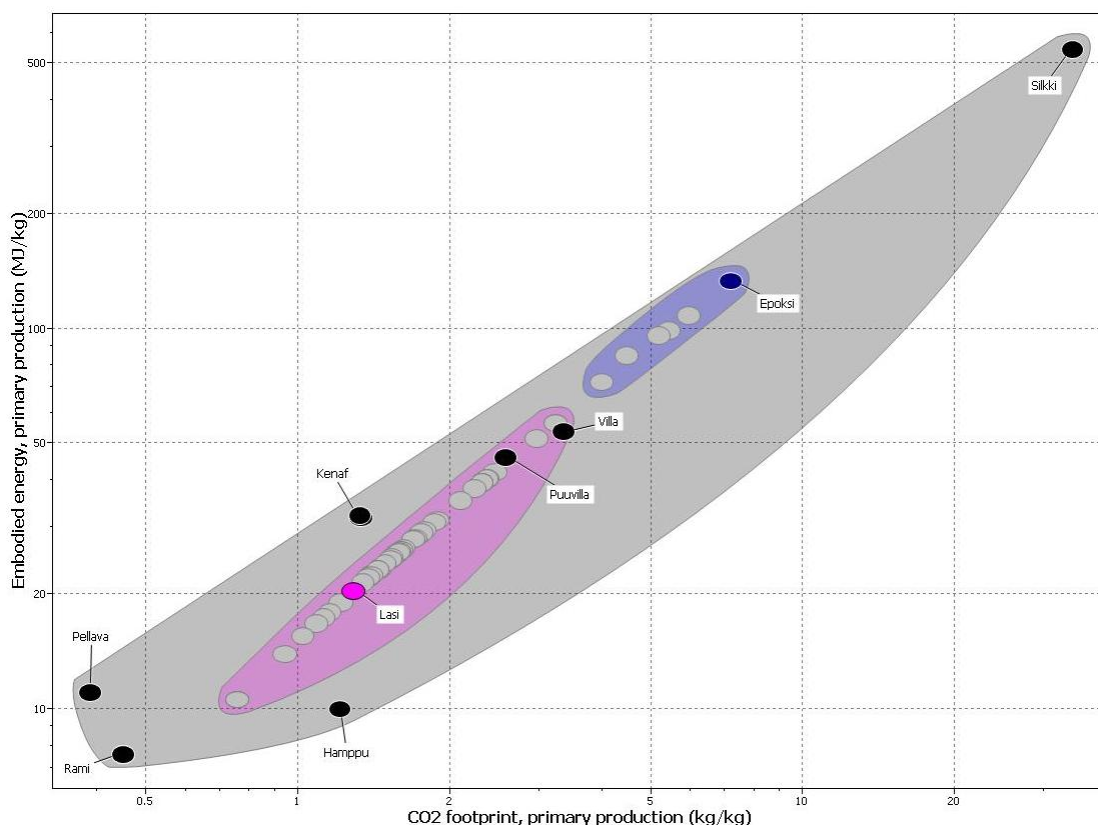
Laminaattien hiilijalanjälki- sekä sitoutuneen energian tulokset pohjautuvat Eco Audit Tool laskentamoduulin rajaamiin elinkaaren viiteen eri vaiheeseen: materiaalit, valmistus, kuljetukset, loppusijoitus (kaatopaikka) ja uusiokäyttö. Vertailemalla ja laskeamalla tunnistin suurimmat hiilijalanjäljen- ja sitoutuneen energian aiheuttavat lähteet elinkaaren vaiheista, jotka olivat materiaalit ja valmistus. Lisäksi uusiokäytön vaikutus laminaattien ympäristövaikutuksiin oli huomattava. Tuote saa uusiokäytöllä uuden elämän, jossain uudessa muodossa, mikä vähentää tuotteen sen hetkisiä elinkaaren aikaisia päästöjä noin 60–70 %. Tästä voidaan päätellä, että pidempään käytössä pysyvä laminaatti on ympäristöystävällisempi, kuin vastaava laminaatti jonka käyttöikä on lyhyempi.

Hiilijalanjälki tuloksia tarkasteltaessa tarkemmin voidaan huomata, että pienimmät CO₂-päästöt syntyivät lasi- ja pellavalujitetusta laminaatista (skenaario 1.1), jossa pellavan pitoisuutta laminaatissa oli nostettu ja lasikuidun osuutta oli pienennetty. Suurin hiilijalanjälki syntyi lasi- ja juuttikuitulujitetusta laminaatista (skenaario 2). Toisin, kuin tutkimuksen alussa olin oletanut lasi- ja luonnonkuitulujitetujen laminaattien hiilijalanjäljet eivät ole automaattisesti pienempiä, kuin mitä lasikuitulujitetun laminaatin hiilijalanjälki. Toisaalta tapauksessa, jossa laminaatit tehdään vain pellava/juuttikuiduista ja epoksihartsista hiilijalanjäljet ovat pienemmät, mitä vastaavalla

lasikuitulujitetulla laminaatilla. Tosin juuttilaminaatin vs. lasikuitulaminaatin hiilijalanjäljillä ei ole huomattavan suurta eroa, vaikka juuttilaminaatin hiilijalanjälki olisi pienempi. Tässä vaiheessa on myös järkevää huomauttaa, että epoksihartsi materiaalin CO₂-päästöjen osuus laminaateissa on noin 50 % laminaattien hiilijalanjäljistä.

Sitoutuneen energian osalta voidaan huomata, että lasi- ja luonnonkuitulujitetut laminaatit ovat sitoneet elinkaaren aikana enemmän energiaa, kuin mitä lasikuitulujitetu laminaatti. Näistä laminaateista eniten energiaa oli sitoutunut lasi- ja pellavalujitetuun laminaattiin (skenaario 1.1) sekä lasi- ja juuttikuitulujitetuun laminaattiin (skenaario 2.2), joiden luonnonkuitu pitoisuuksia oli nostettu ja lasikuidun osuutta pienennetty. Luonnonkuituihin on sitoutunut huomattava määrä energiaa, joka selittää äskeistä tulosta. Lisäksi lasi- ja luonnonkuitulujitetuissa laminaateissa on käytössä enemmän materiaaleja sekä prosessitekniikoita, kuin lasikuitulujitetussa laminaatissa joka osaltaan suurentaa elinkaaren aikaista sitoutunutta energiaa. Kuitulujitettujen laminaattien sitoutuneen energian voisi saada takaisin polttamalla tuote sen elinkaaren loppuksi. Huomioitavaa on myös, että epoksihartsi materiaalin sitoutuneen energian osuus laminaateissa on noin yli 50 % laminaattien koko elinkaaren sitoutuneesta energiasta.

Epoksihartsin osuus elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista oli suurin. Kuvan 25 kaavioon olen verrannut Ces EduPack materiaalinvalinta ohjelman luonnonkuituja, lasikuituja sekä epoksihartseja sitoutuneen energian ja hiilijalanjäljen suhteen. Luonnonkuiduista pellava sekä rami ovat kaikkein ympäristöystävällisimpiä kuituja näihin parametreihin verrattuna (juuttikuitu osuu keenafin kanssa samaan pisteeseen). Lasikuiduista ja epoksihartseista löytyy kyllä parempia vaihtoehtoja, jos halutaan vähentää tuotteen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia materiaalien osalta. Toisaalta toisten materiaalien käyttäminen laminaateissa voi muuttaa tuotteen teknisiä ominaisuuksia. Tältä osin materiaalien valinnan periaatteena ei voi automaattisesti suosia ympäristöystävällisempää vaihtoehtoa, jos tuotteen tekniset ominaisuudet muuttuvat radikaalisti halutusta.



KUVA 25. Materiaalien vertailua Ces EduPack materiaalinvalinta ohjelmalla.

Opinnäytetyön tuloksia arvioitaessa on huomioitava, että tulokset ovat suuntaa antavia, koska elinkaariarviointi on tehty materiaalivalinta ohjelmalla, joka soveltuu parhaiten tuotteiden suunnitteluun. Yksityiskohtaisempiin LCA tutkimuksiin voidaan käyttää kattavampia ohjelmia, jotka on suunniteltu tarkempaan koko tuotteen tai palvelun elinkaaren selvittämiseen aina raaka-aineista loppusijoitukseen. Yleisesti tarkkojen LCA laskelmien tekeminen on todella mittavaa työtä, joten AMK -opinnäytetyön puitteissa ei ole edes tarkoitus päästä samaan tarkkuuteen.

Opinnäytetyö antaa hyvän perustan laajemmalle tutkimukselle kuitulujitetuista laminaateista, koska nyt tiedetään mistä elinkaaren vaiheista (laminaattien materiaalit ja valmistus) suurimmat CO₂-päästöt muodostuvat ja mihin energiaa on sitoutunut eniten. Työ on myös antanut lisää tietoa uusiutuvien materiaalien (pellava, juutti) ympäristöystävällisyydestä, jota voidaan hyödyntää kuitulujitettujen laminaattien tuotekehityksessä. Jatkotutkimuksissa voidaankin lähteä tutkimaan näitä osa-alueita suuremmissa mittasuhteissa.

6.1 Tutkielmaan liittyviä rajoituksia ja huomioita

Tärkein koko elinkaariarviointi- tutkimukseen ja tutkimusmenetelmään liittyvä rajoitus on se, että työ on tehty Ces EduPack materiaalivalinta ohjelman Eco Audit laskentamoduulilla, joka ei ole yhtä kattava tai yksityiskohtaisempi, kuin laajemmat LCA-ohjelmat tai tutkimukset. Toisaalta pitää muistaa, että laskentamoduuli menetelmä ja data ovat linjassa PAS 2050 sekä ISO 14040 standardien kanssa, joten tuloksien pitäisi olla yhdenmukaisia LCA tutkimusten kanssa.

Tämän seikan lisäksi pitää myös muistaa, että hiilijalanjäljen laskemiseen ei ole olemassa yhtenäisiä periaatteita, mikä johtaa siihen, että kyseiset tutkimukset eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Esimerkiksi elinkaaren laajuus, kerättävän tiedon laatu ja hiilijalanjälkeen vaikuttavien tekijöiden rajaaminen muuttavat eri tutkimusten tuloksia huomattavasti. Opinnäytetyöni elinkaariarvioinnissa data tulee suoraan materiaalivalinta ohjelmasta, joten en pääse näkemään millaista data on laadultaan. Esimerkiksi en tiedä mitä kaikkia kasvihuonekaasuja hiilijalanjälki sisältää. Toiseksi prosessointitekniikka, jota yritys käyttää kuitulujitettujen laminaattien valmistuksessa olisi ollut pulttuusio. Tätä vaihtoehtoa ei ollut tarjolla elinkaariarvioinnin prosessitekniikkana. Tästä syystä kuitulujitettujen laminaattien elinkaaren hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian arviointiin tarvitaan täsmällisempää tietoa.

Tutkimusmenetelmään liittyen merkittävä huomio on myös se, että materiaalinvalinta ohjelmalla pystyi keskittymään pelkästään kahteen ympäristölliseen vaikutusluokkaan eli ilmastomuutokseen sekä sitoutuneen energian määrittämiseen. Toki opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia juuri näitä tuotteen ympäristöllisiä vaikutuksia, koska materiaalivalinta ohjelma oli tehty juuri niiden määrittämiseen. Toisaalta on mahdollista tämän rajauksen myötä, että jotain muita ympäristölle merkittävämpiä osa-alueita jäi huomioimatta.

6.2 Laminaattien hiilijalanjälkien vertailua muihin tuotteisiin

Kokonaiskuvan saamiseksi on järkevää verrata laminaattien hiilijalanjälkiä muihin tutkimuksiin, vaikka tulokset eivät ole suoranaisesti vertailukelpoisia keskenään yhtenäisten tutkimusmenetelmien puuttuessa. Hiilijalanjälkilaskelmien tulokset ovat riippuvaisia hyvin pitkälti tekijän tekemistä laskelmista, tutkimuksessa tehdyistä oletta-

muksista sekä lähtötiedoista. Hiilijalanjälki -tutkimuksessani pienimmät CO₂-päästöt syntyivät skenaarion 1.1 lasi- ja pellavakuitulujitetusta laminaatista. Hiilijalanjäljeksi tässä skenaariossa muodostui 3971 kg CO₂-ekvivalenttia per 1000 kg valmista laminaattia. Tulen siis vertaamaan tämän skenaarion tuloksia muun muassa muihin hiilijalanjälki tutkimuksiin. Alle olen luetellut kahdesta valtion tutkimuskeskuksen tekemästä hiilijalanjälki tutkimuksesta poimitut painotuotteiden hiilijalanjäljet (VTT 207-2010a, b). Lisäksi olen ottanut vertailukohteeksi uuden auton aiheuttamat CO₂-päästöt per kilometri (BMW Group).

- Kirjan hiilijalanjälki 2322 kg CO₂-ekv./1000 kg
- Sanomalehden hiilijalanjälki 1066 kg CO₂-ekv./1000 kg
- BMW 3-sarjan Sedan 316i 0,137–0,134 kg CO₂-ekv./km

Verrattaessa tutkimuksen tulosta kirjan sekä sanomalehden tuloksiin voidaan nähdä, että lasi- ja pellavalujitetun laminaatin hiilijalanjälki on paljon suurempi. Esimerkiksi kirjan hiilijalanjälki on noin kaksi kertaa pienempi, kuin mitä lasi- ja pellavalujitetun laminaatin hiilijalanjälki. Vastaavasti sanomalehden hiilijalanjälki on noin neljä kertaa pienempi. Tämä vertailu on vain suuntaa antava ja tästä ei voi tehdä johtopäätöksiä, että lasi- ja pellavakuitulujitetun laminaatin hiilijalanjälki on oikeasti noin paljon suurempi kuin painotuotteiden hiilijalanjälki. Tarkempi tuotteiden hiilijalanjälkien keskinäinen vertailu vaatisi perehtymisen painotuotteiden elinkaariarvioinnin menetelmiin sekä rajauksiin.

Yhdestä kilosta valmista lasi- ja pellavalujitettua laminaattia syntyy noin 4 kg kasvihuonekaasupäästöjä. Uudella 3-sarjan BMW autolla voidaan ajaa 29 kilometriä synnyttäen saman verran kasvihuonekaasupäästöjä, mitä yhdestä kilosta laminaattia syntyy. Auton kasvihuonekaasupäästöt ovat pienet verrattuna laminaatin kasvihuonekaasupäästöihin, vaikka markkinoilla on vielä pienempiä CO₂-päästöisiä autoja.

Hiilijalanjälki tuloksien arviointi ja vertailu on tällä hetkellä todella hankalaa, koska yhteinen hiilijalanjäljen laskentatapaa ei ole. Kiinnostavaa on kuitenkin arvioida tuloksia keskenään, vaikka hiilijalanjälkien vertailu on suuntaa antavaa. Ilman vertailevaa tutkimusta ei voida kehittää parempia laskentatapoja.

7 POHDINTA

Vuonna 2012 luonnonkuitujen sekä luonnonkuitu polymeerien osuus maailman kuitutuotannosta oli arviolta vain 39,1 %. Odotettavissa on, että maailman megatrendit kuten väestönkasvu, hyvinvoinnin kasvu ja ilmastomuutos sekä rajoitettu puuvillan tarjonta seurauksena maailmanlaajuisesta kuitujen kulutuksen kasvamisesta johtavat selluloosakuitujen kysynnän kasvamiseen. Tällöin maailman kuitumarkkinoiden odotetaan kasvavan 2,9 % vuoteen 2020 saakka. Kasvavia luonnonkuitumarkkinoita voitaisiin tukea tutkimalla ja kehittämällä ympäristöystävällisempiä luonnonkuitupohjaisia materiaaleja.

Pellavan massaosuuden nostaminen 30 %:iin lasi- ja pellavakuitulujitetussa laminaatissa osoitti sen, että kyseisen laminaatin hiilijalanjälki on noin 7,3 % pienempi, mitä lasikuitulujitetulla laminaatilla. Toisaalta juuttikuidunkin massaosuuden nostaminen lasi- ja juuttikuitulujitetussa laminaatissa teki hiilijalanjäljestä pienemmän mitä lasikuitulujitetulla laminaatilla vaikka pudotus oli vain noin 0,9 %. Mahdollisuuksien mukaan kuitulujitettu laminaatti voitaisiin tehdä pelkästään luonnonkuiduista ja ympäristöystävällisemmästä epoksihartsista, jolloin hiilijalanjälki olisi vielä paljon pienempi verrattuna lasikuitulujitettuun laminaattiin.

Kuitulujitettujen laminaattien jatkotutkimuksia ajatellen voitaisiin tehdä kattavampi elinkaariarviointi kyseisille laminaateille, nyt kun tiedetään, että materiaaleista ja valmistuksesta aiheutuu suurimmat CO₂-päästöt sekä kyseisiin vaiheisiin on sitoutunut eniten energiaa. Tuotteen elinkaaren tarkempi raja-alue materiaalien ja valmistuksen osalta auttaisi tunnistamaan merkittävimmät päästöjen syntykohdat, jolloin tuotteen päästöjä voitaisiin yrittää pienentää niitä muuttamalla.

Kuljetuksista ja loppusijoituksesta aiheutui pienimmät CO₂-päästöt sekä energiaa oli sitoutunut vaiheisiin vähiten. Kuljetuksien osalta on ihan selvää, miksi ympäristövaikutukset olivat niin pienet kun suurin osa matkasta oli merirahdista. Kuljetusmuotona merirahdi on paljon ekologisempi vaihtoehto, kuin esimerkiksi lentokone, juna tai reikka. Loppusijoitusmuodosta eli kaatopaikasta jäi vielä epäilyttämään se, että ympäristövaikutukset olivat niin pienet hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian osalta. Toisaalta tässä tapauksessa tuote viedään vain kaatopaikalle ja ei laminaateista pitäisi sen jälkeen enää syntyä CO₂-päästöjä tai energiaa sitoutua tuotteisiin. Loppusijoitus ei kui-

tenkaan ole ekologinen tai kestävä vaihtoehto. Tuotteet pitäisi pyrkiä kierrättämään tai polttamaan, jolloin sitoutunut energia saataisiin talteen.

On kuitenkin muistettava, että hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian määrittämisen lisäksi voidaan tuotteen ympäristöllisiä vaikutuksia tutkia myös muilla ympäristöön liittyvillä vaikutusluokilla. Esimerkiksi maan happamoituminen tai veden kulutus, voivat olla merkittävämpiä esimerkiksi kestävästä kehitystä tutkiessa. Hiilijalanjäljen ja sitoutuneen energian määrittäminen kuitulujitetuista laminaateista huomioi ainakin osan ympäristöön kohdistuvista vaikutuksista.

8 LÄHTEET

Avikainen, Jaakko 2013. Kuvamateriaalia lasikuitulaminaattilinjastosta, Mäntyharju. Yhteistyöterveisin Sirpa Silmäri, toimituspäällikkö, Länsi-Savo. WWW-dokumentti. <http://www.lansi-savo.fi/uutiset/1%C3%A4hell%C3%A4/exel-lis%C3%A4%C3%A4-uuden-tuotantolinjan-m%C3%A4ntyharjuun-79005>. Julkaistu 31.10.2013.

BMW Group. Tekniset tiedot. WWW-dokumentti. http://www.bmw.fi/fi/fi/newvehicles/3series/sedan/2011/showroom/technical_data/index.html. Ei päivitystietoja. Luettu 16.4.2014.

Bos, Harriëtte 2004. The Potential of Flax Fibres as Reinforcement for Composite Materials. PDF-dokumentti. <http://alexandria.tue.nl/extra2/200411364.pdf>. Päivitetty 2004. Luettu 11.7.2013.

CompositesWorld 2009. Article: The fibre. WWW-dokumentti. <http://www.compositesworld.com/articles/the-fiber>. Julkaistu 1.8.2009. Luettu 5.11.2013.

Dissanayake, Nilmini 2011. Life cycle assesment of flax fibres for reinforcement of polymer matrix composites. WWW-dokumentti. <http://pearl.plymouth.ac.uk/handle/10026.1/969>. Päivitetty 2011. Luettu 5.8.2013.

Dr Halliwell, Sue 2006. End of Life Options for Composite Waste Recycle, Reuse or Dispose? PDF-dokumentti. <http://www.tech.plym.ac.uk>. Päivitetty 2006. Luettu 12.7.2013.

Etcheverry, Mariana & Barbosa, Silvia E 2012. Glass Fiber Reinforced Polypropylene Mechanical Properties Enhancement by Adhesion Improvement. PDF-dokumentti. <http://www.mdpi.com/1996-1944/5/6/1084>. Julkaistu 18.6.2012. Luettu 20.1.2014.

Exel Composites Oyj 2009a. Reinforcements. WWW-dokumentti. <http://www.exelcomposites.com/en-us/english/composites/rawmaterials/reinforcements.aspx>. Ei päivitystietoja. Luettu 5.11.2013.

Exel Composites Oyj 2009b. WWW-dokumentti. About exel composites.
<http://www.exelcomposites.com/en-us/english/aboutexel.aspx>. Ei päivitystietoja.
Luettu 13.1.2014.

FAO. Future Fibers Jute. WWW-dokumentti.
<http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/en/>. Ei päivitystietoja. Luettu
1.4.2014.

GlassFibreEurope. WWW-dokumentti. <http://www.glassfibreeurope.eu/legislative-developments/>. Ei päivitystietoja. Luettu 21.11.2013.

Granta material intelligence 2013. Introducing CES EduPack. WWW-dokumentti.
<http://www.grantadesign.com/education/overview.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu
10.11.2013.

ISO 14040:2006. Ympäristöasioiden hallinta, elinkaariarviointi, periaatteet ja pääpiirteet. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. Vahvistettu 18.12.2006. Luettu 10.3.2014.

ISO 14044:2006. Ympäristöasioiden hallinta, elinkaariarviointi, vaatimukset ja suuntaviivoja. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry. Vahvistettu 18.12.2006. Luettu
10.3.2014.

Jätelaki (646/2011). WWW-dokumentti.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>. Voimaantuloaika 17.6.2011. Luettu
25.2.2014.

Kevra Oy. Lasikuitu. WWW-dokumentti.
<http://www.kevra.fi/fi/Tuotteet/Lujitteet/Lasikuitu/>. Ei päivitystietoja. Luettu
5.11.2013.

Kolybaba M., Tabil L.G., Panigrahi S., Crerar W.J., Powell T., Wang B. 2003. Biodegradable Polymers: Past, Present, and Future. Written for presentation at the 2003 CSAE/ASAE Annual Intersectional Meeting. Päivitetty 3-4.8.2003. Luettu
8.7.2013.

Kozłowski, Ryszard & Mackiewicz-Talarczyk, Maria 2009. Flax, hemp and allied fibres in the world. Inventory of natural fibres and their potential in diversified applications. Euroflax. PDF-dokumentti.

http://www.saskflax.com/PDFs/FiberintheWorld_report.pdf. Julkaistu 2009. Luettu 12.2.2014.

Lahtinen, Oona 2010. Muovit ja ekotehokkuus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaistu helmikuussa 2010. Luettu 1.8.2013.

Lehtinen, Hannele, Saarentaus, Anna, Rouhiainen, Juulia, Pitts, Michael, Azapagic, Adisa 2011. A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs.

PDF-dokumentti. <http://www.biochem->

pro-

[project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA_review.p](http://www.biochem-project.eu/download/toolbox/sustainability/01/120321%20BIOCHEM%20LCA_review.pdf)

df. Päivitetty 2011. Luettu 1.8.2013.

Lehtiniemi, Päivi & Järvelä, Pentti 2012. Luonnonmateriaalipohjaiset polymeerikomposiitit rakentamisteollisuudessa. WWW-dokumentti.

<http://www.miktech.fi/media/getfile.php?file=212>. Julkaistu 2.4.2012. Luettu

5.11.2013.

Lenzing a. The Global Fiber Market in 2013. WWW-dokumentti.

<http://www.lenzing.com/en/concern/investor-center/equity-story/global-fiber-market.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 22.11.2013.

Lenzing b. Cellulose Gap. WWW-dokumentti.

<http://www.lenzing.com/en/concern/investor-center/equity-story/global-fiber-market/cellulose-gap.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 22.11.2013.

Muovimuotoilu. Lujitemuovit. Taideteollinen korkeakoulu. WWW-dokumentti.

<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/41/72/>. Ei päivitystietoja. Luettu

5.11.2013.

Nikkola, Aulis 2011. Muoveproseminaari. PDF- dokumentti.

https://www.tut.fi/ms/muo/muovepro_mikkeli/Documents/nikkola.pdf .Päivitetty 23.9.2011. Luettu 11.7.2013.

Parjanen, Jukka-Pekka & Andersson, Mirja 2009. Luonnonkuitukomposiittien tarveselvitys. PDF-dokumentti. <http://oske.ketek.fi>. Päivitetty 2009. Luettu 9.7.2013.

Pellavapirtti 2011. Pellavan historia ja ominaisuudet. WWW-dokumentti.

<http://www.pellavapirtti.fi/pages/fi/pellavan-historia.php>. Ei päivitystietoja. Luettu 3.4.2014.

Saastamoinen, Marketta, Vesanen, Kaija & Saarinen, Jukka 2011. Luonnonkuituja tuottavien kasvien tuotanto Sastamalan ympäristössä. Huittinen: Sastamalan koulutus-kuntauhtymä. PDF-dokumentti. <http://www.luonnonkuitu.fi>. Päivitetty 2011. Luettu 8.7.2013.

Sahari, J. & Sapuan, S.M. 2011. Natural fibre reinforced biodegradable polymer composites. PDF-dokumentti.

http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_23012/05_sahari.pdf. Päivitetty 8.8.2011. Luettu 10.7.2013.

Siik, Krista, Kuronen, Hanna, Hakala, Sanni, Aalto, Taru, Vuorinen, Jyrki. Lujitemuovin kierrätys ja uusiokäyttö KIERRÄ. PDF-dokumentti.

http://hallinta.mamk.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/mamk/embeds//17984_Loppuraportti.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 11.7.2013.

Suomen ympäristökeskus SYKE 2013a. Materiaalitehokkuus. WWW-dokumentti.

http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Resurssitehokkuus/Materiaalitehokkuus. Julkaistu 6.11.2013. Luettu 20.11.2013.

Suomen ympäristökeskus SYKE 2013b. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotomalli. WWW-dokumentti. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/Elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotomalli#Ekologinen_jalanjalke.

Julkaistu 6.11.2013. Luettu 20.11.2013.

Tarkkanen, Laura, Skrifvars, Mikael, Järvelä, Pentti, Silen, Jukka 2012. Uutta lujite-muovien valmistuksessa 2012. PDF-dokumentti.

<http://www.miktech.fi/media/getfile.php?file=249>. Päivitetty 2012. Luettu 10.7.2013.

UNEP 2009. Guidelines for social life cycle assessment of products. PDF-dokumentti.

http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DITx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf.

Päivitetty 2009. Luettu 23.7.2013.

Valmiera Glass. 2012. What is glass fibre? WWW-dokumentti.

<http://www.vss.lv/en/what-glass-fibre>. Ei päivitystietoja. Luettu 5.11.2013.

Van Dam Wageningen, Jan E.G. Environmental benefits of natural fibre production and use. PDF-dokumentti. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0709e/i0709e03.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 4.7.2013.

VTT 2007-2010a. Kirjan hiilijalanjälki. Esite LEADER-tutkimusprojektista. PDF-dokumentti. http://www.vtt.fi/files/sites/leader/kirjan_hiilijalanjalki_2010.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 16.4.2014.

VTT 2007-2010b. Sanomalehden hiilijalanjälki. Esite LEADER-tutkimusprojektista. PDF-dokumentti.

http://www.vtt.fi/files/sites/leader/sanomalehden_hiilijalanjalki_2010.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 16.4.2014.

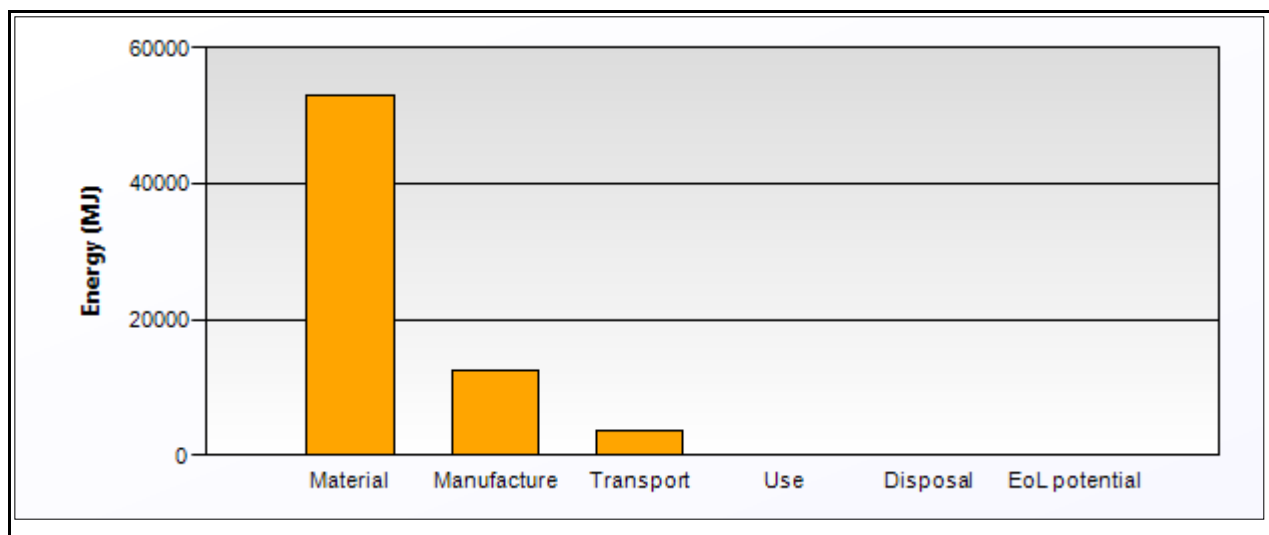


Eco Audit Report

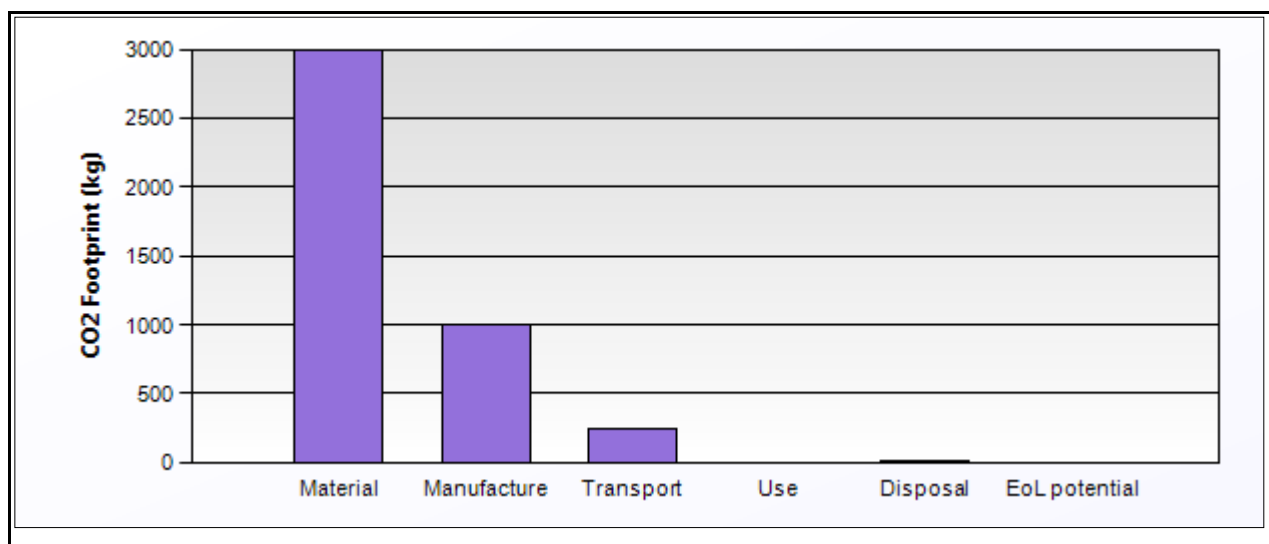
Product Name Skenaario 0: lasikuitulaminaatti

Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



[CO2 Details...](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	5.31e+04	76.5	2.99e+03	70.2
Manufacture	1.26e+04	18.1	1.01e+03	23.6
Transport	3.51e+03	5.1	249	5.8
Use	0	0.0	0	0.0

Disposal	200	0.3	14	0.3
Total (for first life)	6.94e+04	100	4.26e+03	100
End of life potential	0		0	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Energy and CO2 Summary](#)

	Energy (MJ)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	6.93e+04

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	Energy (MJ)	%
	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	7.1e+02	1	7.1e+02	1.4e+04	27.2
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	2.9e+02	1	2.9e+02	3.9e+04	72.8
Total				2	1e+03	5.3e+04	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	Energy (MJ)	%
	Glass molding	7.1e+02 kg	6.2e+03	49.3
	Polymer molding	2.9e+02 kg	6.4e+03	50.7
Total			1.3e+04	100

Transport:

[Energy and CO2 Summary](#)

Breakdown by transport stage Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
Mäntylampi-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	66	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	3.4e+03	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	5.9	0.2
Total		2.2e+04	3.5e+03	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	Energy (MJ)	%
	7.1e+02	2.5e+03	71.0
	2.9e+02	1e+03	29.0
Total	1e+03	3.5e+03	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	Energy (MJ)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Landfill	1.4e+02	71.0
	Landfill	58	29.0
Total		2e+02	100

EoL potential:

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Landfill	0	
	Landfill	0	
Total		0	100

**Eco Audit Report****CO2 Footprint Analysis**[Energy and CO2 Summary](#)

	CO2 (kg)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	4.26e+03

Detailed breakdown of individual life phases**Material:**[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	CO2 footprint (kg)	%
	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	7.1e+02	1	7.1e+02	9.1e+02	30.4
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	2.9e+02	1	2.9e+02	2.1e+03	69.6
Total				2	1e+03	3e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
	Glass molding	7.1e+02 kg	5e+02	49.3
	Polymer molding	2.9e+02 kg	5.1e+02	50.7
Total			1e+03	100

Transport:[Energy and CO2 Summary](#)**Breakdown by transport stage** Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
Mäntyharju-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	4.7	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	2.4e+02	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	0.42	0.2
Total		2.2e+04	2.5e+02	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
	7.1e+02	1.8e+02	71.0
	2.9e+02	72	29.0
Total	1e+03	2.5e+02	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
	Landfill	9.9	71.0
	Landfill	4.1	29.0
Total		14	100

EoL potential:

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
	Landfill	0	
	Landfill	0	
Total		0	100

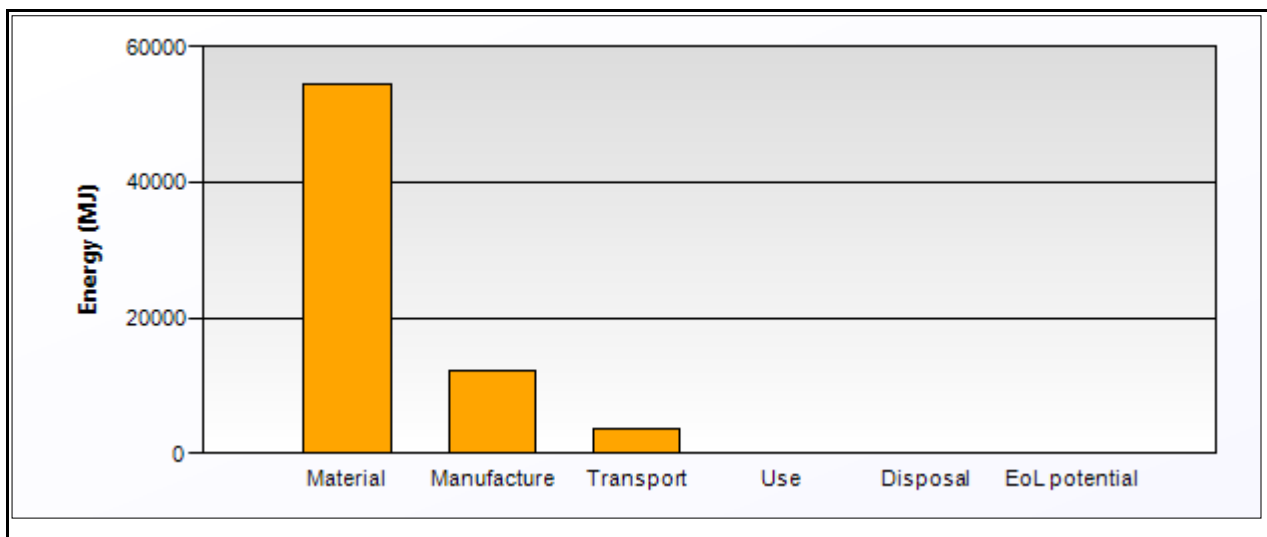


Eco Audit Report

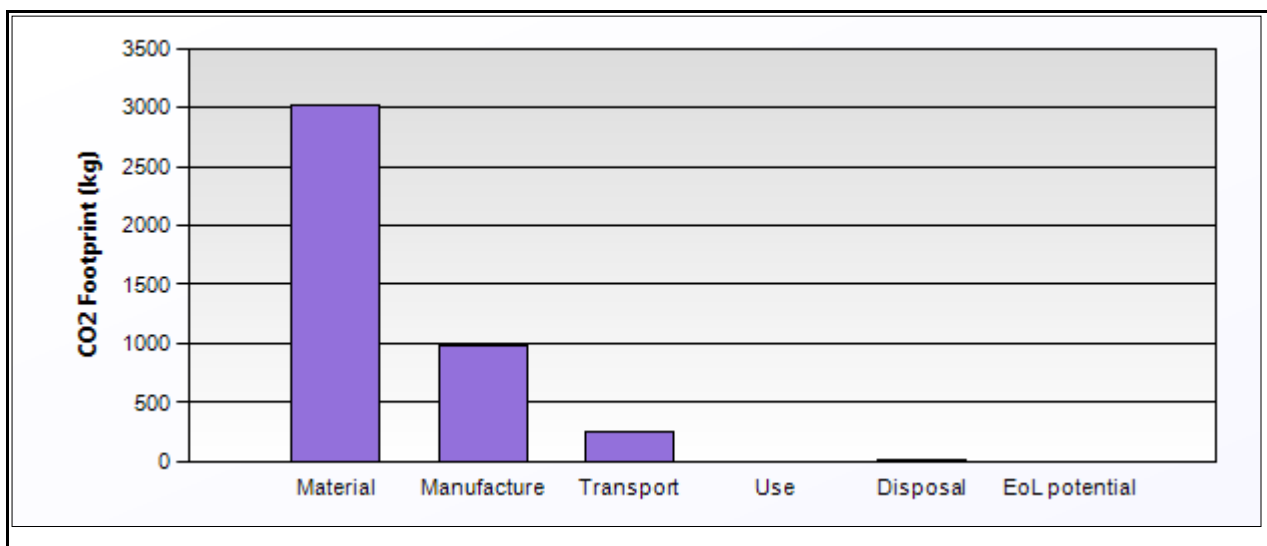
Product Name Skenaario 1: lasi/pellavakuitulaminaatti

Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



[CO2 Details...](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	5.45e+04	77.3	3.02e+03	70.9
Manufacture	1.22e+04	17.4	980	23.0
Transport	3.51e+03	5.0	249	5.8
Use	0	0.0	0	0.0

Disposal	200	0.3	14	0.3
Total (for first life)	7.04e+04	100	4.26e+03	100
End of life potential	0		0	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Energy and CO2 Summary](#)

	Energy (MJ)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	7.02e+04

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	Energy (MJ)	%
	Flax	Virgin (0%)	1e+02	1	1e+02	1.1e+03	2.0
	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	5.9e+02	1	5.9e+02	1.2e+04	22.1
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	3.1e+02	1	3.1e+02	4.1e+04	75.9
Total				3	1e+03	5.4e+04	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	Energy (MJ)	%
	Fabric production	1e+02 kg	2.6e+02	2.1
	Glass molding	5.9e+02 kg	5.2e+03	42.2
	Polymer molding	3.1e+02 kg	6.8e+03	55.7

Total			1.2e+04	100
-------	--	--	---------	-----

Transport:[Energy and CO2 Summary](#)**Breakdown by transport stage** Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
Mäntylampi-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	66	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	3.4e+03	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	5.9	0.2
Total		2.2e+04	3.5e+03	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	Energy (MJ)	%
	1e+02	3.5e+02	10.0
	5.9e+02	2.1e+03	59.0
	3.1e+02	1.1e+03	31.0
Total	1e+03	3.5e+03	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	Energy (MJ)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	Energy (MJ)	%

	Landfill	20	10.0
	Landfill	1.2e+02	59.0
	Landfill	62	31.0
Total		2e+02	100

EoL potential:

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Landfill	0	
	Landfill	0	
	Landfill	0	
Total		0	100

**Eco Audit Report****CO2 Footprint Analysis**[Energy and CO2 Summary](#)

	CO2 (kg)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	4.26e+03

Detailed breakdown of individual life phases**Material:**[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	CO2 footprint (kg)	%
-----------	----------	-----------------------	----------------	------	------------	--------------------	---

	Flax	Virgin (0%)	1e+02	1	1e+02	39	1.3
	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	5.9e+02	1	5.9e+02	7.6e+02	25.1
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	3.1e+02	1	3.1e+02	2.2e+03	73.7
Total				3	1e+03	3e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
	Fabric production	1e+02 kg	21	2.1
	Glass molding	5.9e+02 kg	4.1e+02	42.2
	Polymer molding	3.1e+02 kg	5.5e+02	55.7
Total			9.8e+02	100

Transport:

[Energy and CO2 Summary](#)

Breakdown by transport stage Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
Mäntyharju-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	4.7	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	2.4e+02	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	0.42	0.2
Total		2.2e+04	2.5e+02	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
	1e+02	25	10.0

	5.9e+02	1.5e+02	59.0
	3.1e+02	77	31.0
Total	1e+03	2.5e+02	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
	Landfill	1.4	10.0
	Landfill	8.3	59.0
	Landfill	4.3	31.0
Total		14	100

EoL potential:

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
	Landfill	0	
	Landfill	0	
	Landfill	0	
Total		0	100

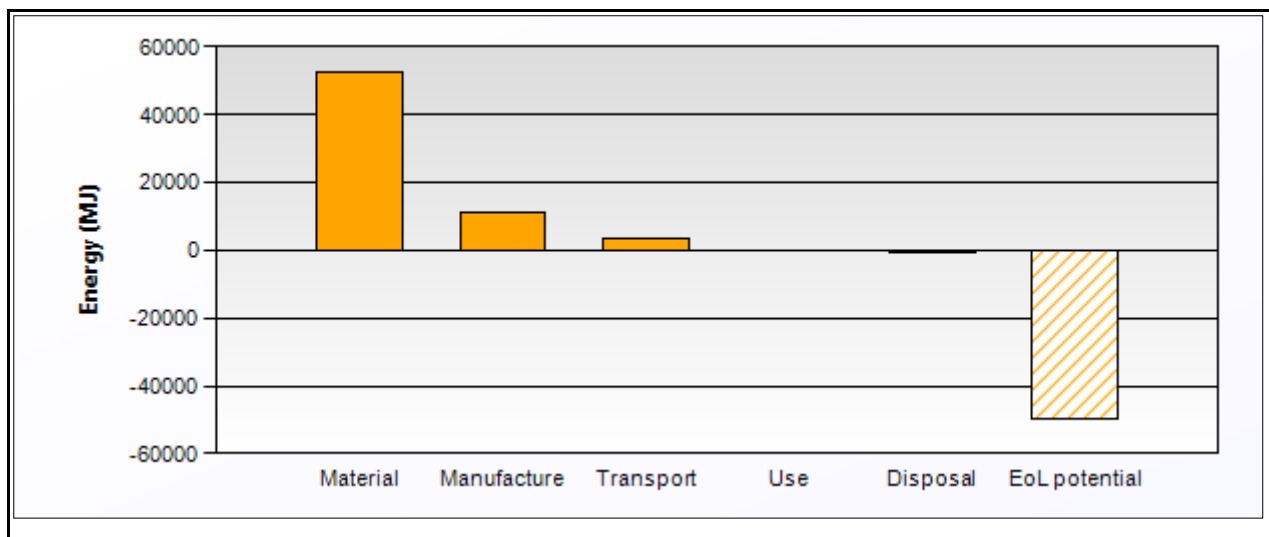


Eco Audit Report

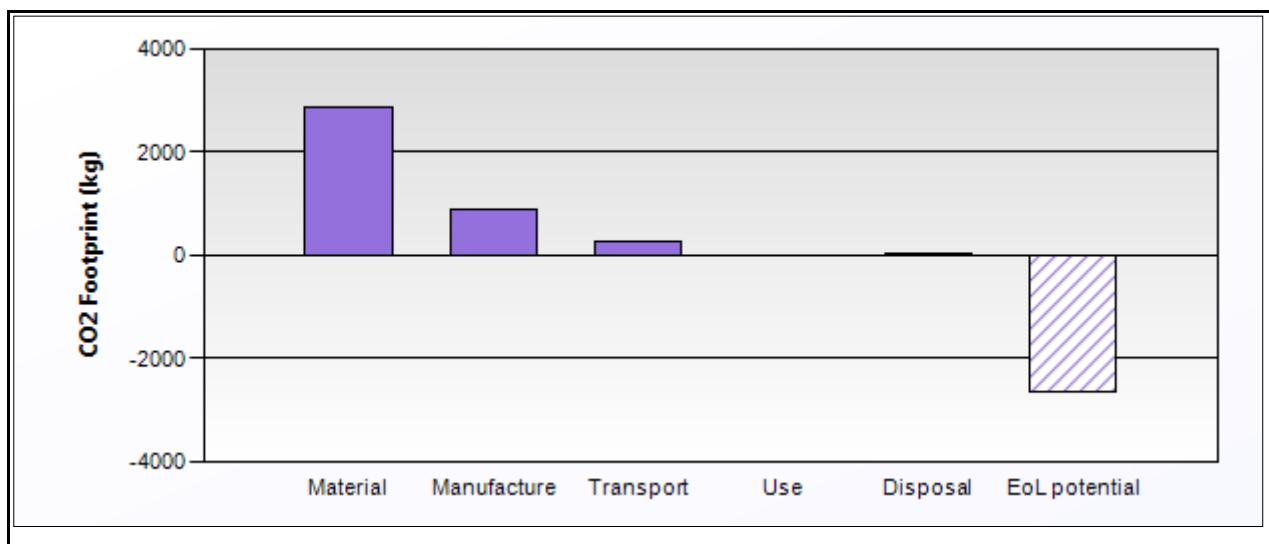
Product Name Skenaario 1.1: lasi/pellavakuitulaminaatti30%

Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



[CO2 Details...](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	5.28e+04	78.1	2.85e+03	71.2
Manufacture	1.11e+04	16.4	886	22.1
Transport	3.58e+03	5.3	254	6.3
Use	0	0.0	0	0.0

Disposal	204	0.3	14.3	0.4
Total (for first life)	6.77e+04	100	4e+03	100
End of life potential	-4.98e+04		-2.64e+03	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Energy and CO2 Summary](#)

	Energy (MJ)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	6.75e+04

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	Energy (MJ)	%
	Flax	Virgin (0%)	3.2e+02	1	3.2e+02	3.5e+03	6.7
	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	3.9e+02	1	3.9e+02	7.9e+03	15.0
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	3.1e+02	1	3.1e+02	4.1e+04	78.3
Total				3	1e+03	5.3e+04	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	Energy (MJ)	%
	Fabric production	3.2e+02 kg	8.3e+02	7.5
	Glass molding	3.9e+02 kg	3.4e+03	30.8
	Polymer molding	3.1e+02 kg	6.8e+03	61.7
Total			1.1e+04	100

Transport:[Energy and CO2 Summary](#)**Breakdown by transport stage** Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
Mäntyharju-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	67	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	3.5e+03	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	6	0.2
Total		2.2e+04	3.6e+03	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	Energy (MJ)	%
	3.2e+02	1.1e+03	31.4
	3.9e+02	1.4e+03	38.2
	3.1e+02	1.1e+03	30.4
Total	1e+03	3.6e+03	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	Energy (MJ)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Re-manufacture	64	31.4

	Re-manufacture	78	38.2
	Re-manufacture	62	30.4
Total		2e+02	100

EoL potential:

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Re-manufacture	-2.6e+03	5.2
	Re-manufacture	-6.8e+03	13.6
	Re-manufacture	-4e+04	81.2
Total		-5e+04	100

**Eco Audit Report****CO2 Footprint Analysis**[Energy and CO2 Summary](#)

	CO2 (kg)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	4e+03

Detailed breakdown of individual life phases**Material:**[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	CO2 footprint (kg)	%
	Flax	Virgin (0%)	3.2e+02	1	3.2e+02	1.2e+02	4.3

	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	3.9e+02	1	3.9e+02	5e+02	17.6
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	3.1e+02	1	3.1e+02	2.2e+03	78.1
Total				3	1e+03	2.9e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
	Fabric production	3.2e+02 kg	67	7.5
	Glass molding	3.9e+02 kg	2.7e+02	30.8
	Polymer molding	3.1e+02 kg	5.5e+02	61.7
Total			8.9e+02	100

Transport:

[Energy and CO2 Summary](#)

Breakdown by transport stage

Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
Mäntylharju-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	4.8	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	2.5e+02	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	0.43	0.2
Total		2.2e+04	2.5e+02	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
	3.2e+02	80	31.4
	3.9e+02	97	38.2

	3.1e+02	77	30.4
Total	1e+03	2.5e+02	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
	Re-manufacture	4.5	31.4
	Re-manufacture	5.5	38.2
	Re-manufacture	4.3	30.4
Total		14	100

EoL potential:

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
	Re-manufacture	-57	2.1
	Re-manufacture	-4.2e+02	15.9
	Re-manufacture	-2.2e+03	82.0
Total		-2.6e+03	100

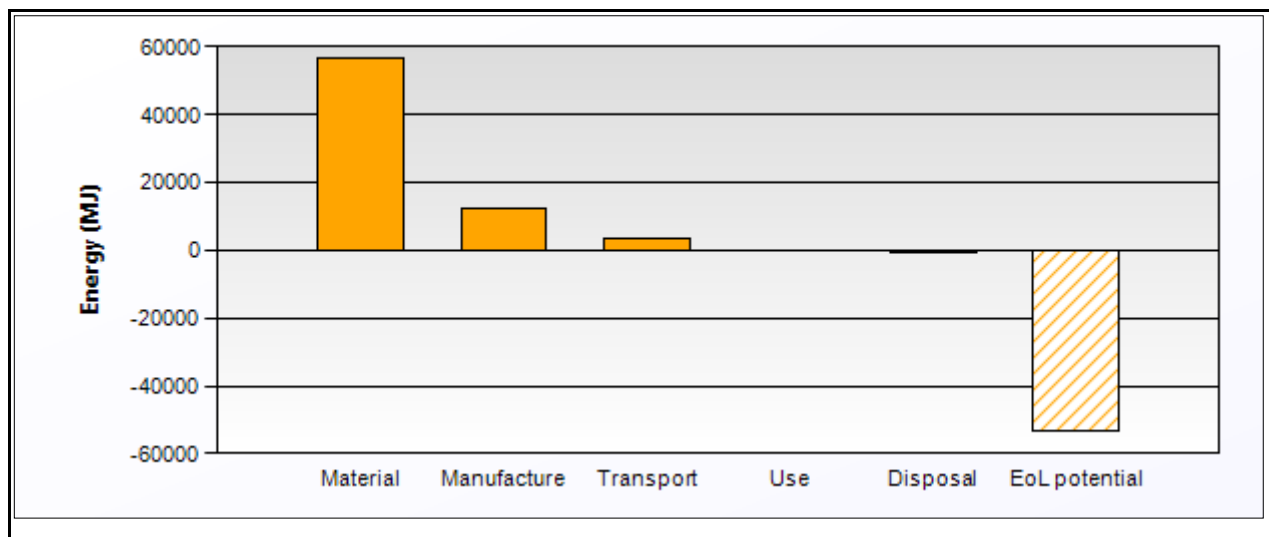


Eco Audit Report

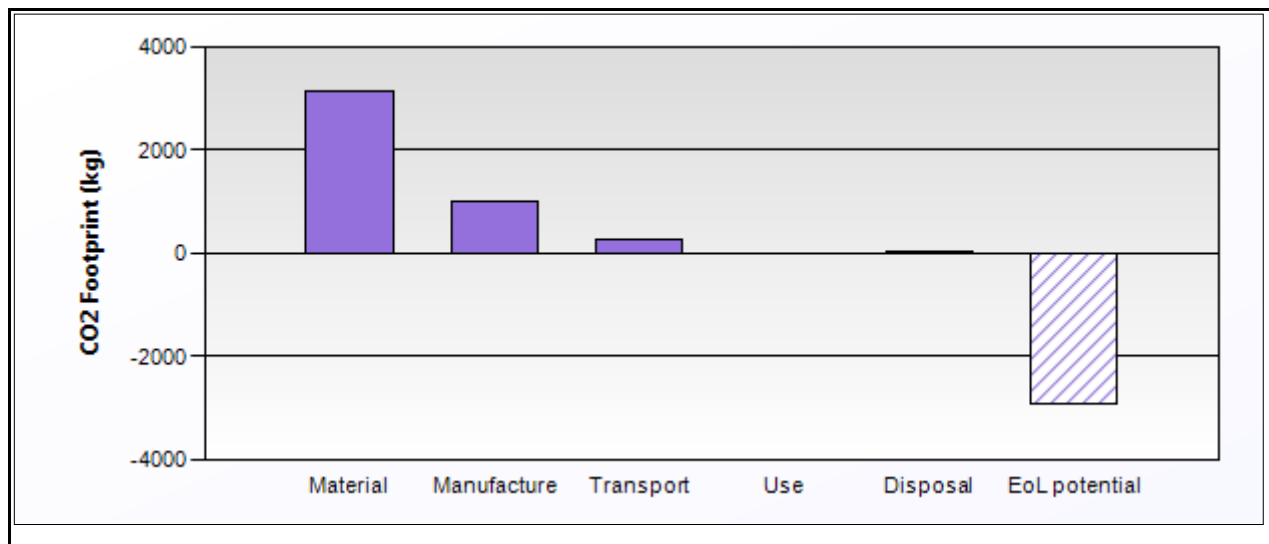
Product Name Skenaario 2: lasijuuttikuitulaminaatti

Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



[CO2 Details...](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	5.65e+04	78.0	3.12e+03	71.5
Manufacture	1.22e+04	16.9	980	22.5
Transport	3.51e+03	4.8	249	5.7
Use	0	0.0	0	0.0

Disposal	200	0.3	14	0.3
Total (for first life)	7.25e+04	100	4.36e+03	100
End of life potential	-5.35e+04		-2.91e+03	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Energy and CO2 Summary](#)

	Energy (MJ)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	7.23e+04

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	Energy (MJ)	%
	Jute	Virgin (0%)	1e+02	1	1e+02	3.2e+03	5.6
	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	5.9e+02	1	5.9e+02	1.2e+04	21.3
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	3.1e+02	1	3.1e+02	4.1e+04	73.1
Total				3	1e+03	5.7e+04	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	Energy (MJ)	%
	Fabric production	1e+02 kg	2.6e+02	2.1
	Glass molding	5.9e+02 kg	5.2e+03	42.2
	Polymer molding	3.1e+02 kg	6.8e+03	55.7
Total			1.2e+04	100

Transport:[Energy and CO2 Summary](#)**Breakdown by transport stage** Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
Mäntyharju-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	66	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	3.4e+03	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	5.9	0.2
Total		2.2e+04	3.5e+03	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	Energy (MJ)	%
	1e+02	3.5e+02	10.0
	5.9e+02	2.1e+03	59.0
	3.1e+02	1.1e+03	31.0
Total	1e+03	3.5e+03	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	Energy (MJ)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Re-manufacture	20	10.0

	Re-manufacture	1.2e+02	59.0
	Re-manufacture	62	31.0
Total		2e+02	100

EoL potential:

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Re-manufacture	-2.9e+03	5.4
	Re-manufacture	-1e+04	19.1
	Re-manufacture	-4e+04	75.5
Total		-5.4e+04	100

**Eco Audit Report****CO2 Footprint Analysis**[Energy and CO2 Summary](#)

	CO2 (kg)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	4.36e+03

Detailed breakdown of individual life phases**Material:**[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	CO2 footprint (kg)	%
	Jute	Virgin (0%)	1e+02	1	1e+02	1.3e+02	4.3

	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	5.9e+02	1	5.9e+02	7.6e+02	24.3
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	3.1e+02	1	3.1e+02	2.2e+03	71.4
Total				3	1e+03	3.1e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
	Fabric production	1e+02 kg	21	2.1
	Glass molding	5.9e+02 kg	4.1e+02	42.2
	Polymer molding	3.1e+02 kg	5.5e+02	55.7
Total			9.8e+02	100

Transport:

[Energy and CO2 Summary](#)

Breakdown by transport stage

Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
Mäntyharju-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	4.7	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	2.4e+02	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	0.42	0.2
Total		2.2e+04	2.5e+02	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
	1e+02	25	10.0
	5.9e+02	1.5e+02	59.0

	3.1e+02	77	31.0
Total	1e+03	2.5e+02	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
	Re-manufacture	1.4	10.0
	Re-manufacture	8.3	59.0
	Re-manufacture	4.3	31.0
Total		14	100

EoL potential:

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
	Re-manufacture	-1.1e+02	3.8
	Re-manufacture	-6.3e+02	21.8
	Re-manufacture	-2.2e+03	74.4
Total		-2.9e+03	100

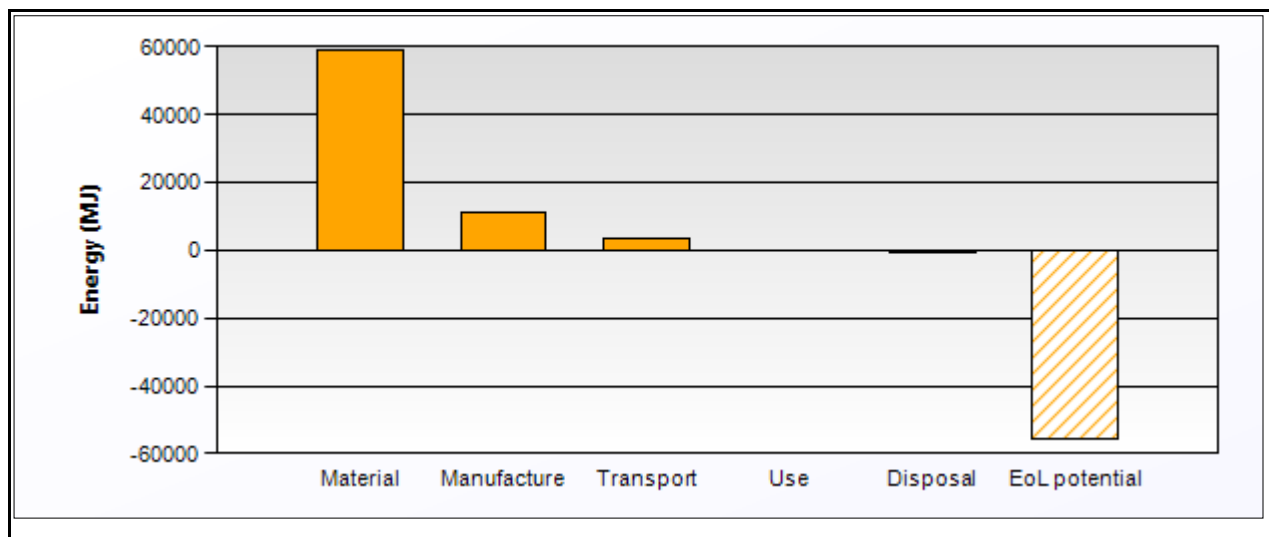


Eco Audit Report

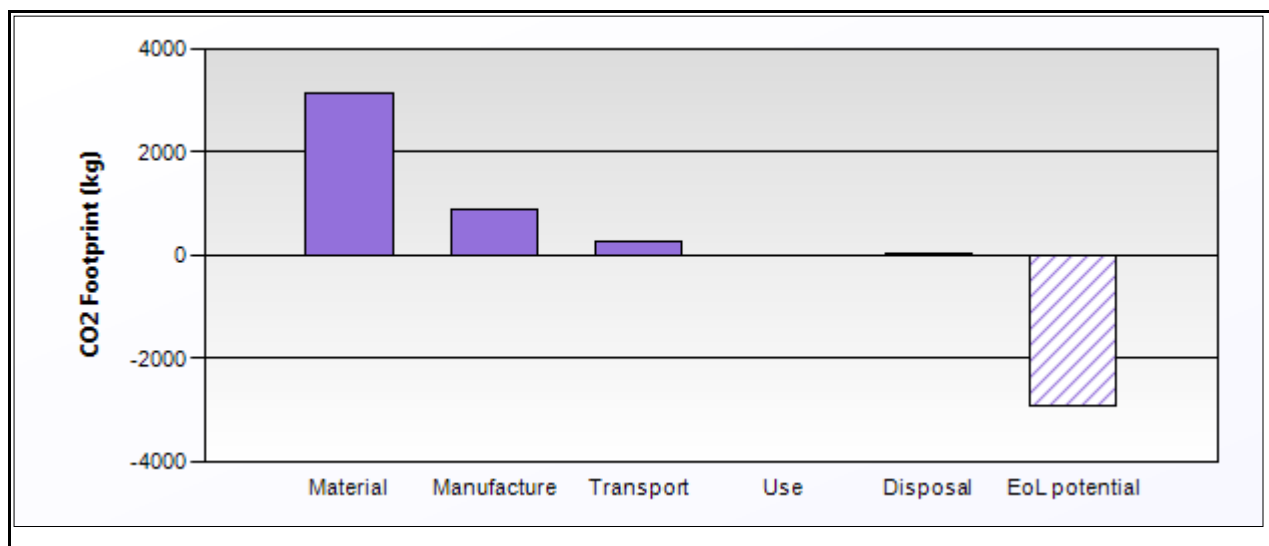
Product Name Skenaario 2.1: lasijuuttikuitulaminaatti30%

Product Life (years) 1

Energy and CO2 Footprint Summary:



[Energy Details...](#)



[CO2 Details...](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	5.88e+04	80.0	3.13e+03	73.2
Manufacture	1.1e+04	15.0	881	20.6
Transport	3.51e+03	4.8	249	5.8
Use	0	0.0	0	0.0

Disposal	200	0.3	14	0.3
Total (for first life)	7.36e+04	100	4.27e+03	100
End of life potential	-5.58e+04		-2.92e+03	



Eco Audit Report

Energy Analysis

[Energy and CO2 Summary](#)

	Energy (MJ)/year
Equivalent annual environmental burden (averaged over 1 year product life):	7.34e+04

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass	Energy (MJ)	%
	Jute	Virgin (0%)	3e+02	1	3e+02	9.6e+03	16.2
	Aluminoborosilicate - G20	Virgin (0%)	3.9e+02	1	3.9e+02	7.9e+03	13.5
	Epoxy resin (unfilled)	Virgin (0%)	3.1e+02	1	3.1e+02	4.1e+04	70.3
Total				3	1e+03	5.9e+04	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

[Energy and CO2 Summary](#)

Component	Process	Amount processed	Energy (MJ)	%
	Fabric production	3e+02 kg	7.8e+02	7.1
	Glass molding	3.9e+02 kg	3.4e+03	31.0
	Polymer molding	3.1e+02 kg	6.8e+03	61.9
Total			1.1e+04	100

Transport:[Energy and CO2 Summary](#)**Breakdown by transport stage** Total product mass = 1e+03 kg

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
Mäntyharju-Kotka	32 tonne truck	1.4e+02	66	1.9
Kotka-San Diego	Sea freight	2.1e+04	3.4e+03	98.0
San Diego-tehdas	32 tonne truck	13	5.9	0.2
Total		2.2e+04	3.5e+03	100

Breakdown by components

Component	Component mass (kg)	Energy (MJ)	%
	3e+02	1.1e+03	30.0
	3.9e+02	1.4e+03	39.0
	3.1e+02	1.1e+03	31.0
Total	1e+03	3.5e+03	100

Use:[Energy and CO2 Summary](#)**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	Energy (MJ)	%
Static	0	
Mobile	0	
Total	0	100

Disposal:[Energy and CO2 Summary](#)

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Re-manufacture	60	30.0

	Re-manufacture	78	39.0
	Re-manufacture	62	31.0
Total		2e+02	100

EoL potential:

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
	Re-manufacture	-8.7e+03	15.5
	Re-manufacture	-6.8e+03	12.1
	Re-manufacture	-4e+04	72.4
Total		-5.6e+04	100